



中等專業學校教學用書

普通地球物理探勘

下 冊

蘇聯 勒·夫·蘇洛金等著

石油工業出版社

64530

中等專業學校教學用書

要 容 內

普通地球物理探勘
下 冊

蘇聯 勒·夫·蘇洛金 布·依·馬克辛莫夫 葉·恩·卡連諾夫 合著
勒·阿·列賓金 阿·恩·費道連柯 斯·格·科馬洛夫

前石油管理總局編譯室譯 北京石油工業學校校

蘇聯石油工業部教育局批准作為中等石油專業學校教材

石油工業出版社

00343

普通地球物理探勘學專業專著中

內容提要

普通地球物理探勘下冊包括三至五篇，其中三、四兩篇主要敘述電測及地震探勘的基本理論、方法及儀器，以及整理資料的方法。

第五篇敘述地下地球物理的應用方法及設備。

本書可作為石油中等技術學校教材，並可供石油地質探勘工作人員參考。

普通地球物理探勘學

下冊

合 著 者 蘇 聯 地 質 部 地 球 物 理 探 勘 所 地 球 物 理 探 勘 系 教 授 蘇 聯 地 質 部 地 球 物 理 探 勘 所 地 球 物 理 探 勘 系 教 授

Л. В. СОРОКИН Б. И. МАКСИМОВ Е. Н. КАЛЕНОВ
Л. А. РЯБИНСКИЙ А. Н. ФЕДОРЕНКО С. Г. КОМАРОВ

ОБЩИЙ КУРС РАЗВЕДОЧНОЙ ГЕОФИЗИКИ

根據蘇聯國立石油燃料科技書籍出版社(ГОСТОПТЕХИЗДАТ)
1949年列寧格勒版翻譯

石油工業出版社出版

統一書號：15037·46

普通地球物理探勘

下冊

前石油管理總局編譯室譯

北京石油工業學校校

*

石油工業出版社出版 (社址：北京六部坑石油工業部十號樓)

北京市書刊出版業營業許可證出字第083號

北京市印刷一廠排印

新華書店發行

*

850×1092 1/32 開本 * 印張9 1/2 * 220千字 * 印3,201—5,030冊

1954年10月北京第1版第1次印刷

1956年4月北京第1版第2次印刷

定價1元6角4分

目 錄

第三篇 電法探勘

第一章 電阻法	147
第一節 關於電阻法的一般知識	147
第二節 岩石的電阻率	150
第三節 正常電場，一點及兩點電極的電場電位	151
第四節 在介質表面上電場的電位。介質電阻率的決定	156
第五節 介質電阻率測量法。關於視電阻率的概念	160
第六節 電阻法的儀器及設備	162
第七節 電測深	174
第八節 電測深結果的解釋	181
第九節 電測剖面	199
第十節 電測剖面線路及其操作技術	201
第十一節 電阻圖，電測剖面結果的解釋	207
第二章 自然電流法	209
第一節 自然電流法原理	209
第二節 野外測量的儀器、裝備、技術及解釋	212
第三章 線圈法	217
第一節 線圈法的物理原理	217
第二節 野外測量的方法	223
第三節 野外工作的儀器和技術	226
第四節 測量結果的整理和解釋	228
第四章 用交流電的其他探勘法	230
第一節 等電位線法	230
第二節 強度法	231
第三節 感應法	232

第四篇 地震探勘

第一章 地震探勘的物理原理	234
---------------------	-----

第一節	確定岩石彈性的因素	234
第二節	彈性地震波的發生及其種類	235
第三節	個別的地震波引起的運動	236
第四節	地震波的傳播及其速度	237
第五節	地震波的視速度	239
第六節	地震波的反射	239
第七節	地震波的折射	241
第八節	傳向地面的折射波的發生及傳播	242
第九節	不同類型的波到達地面的次序	244
第十節	地震探勘的理論及應用	246
第二章	應用地震探勘的地質學原理	247
第一節	彈性波在不同岩石中的傳播速度	247
第二節	岩層中的反射面和折射面	249
第三節	產生、傳播和接收地震波的地質條件	252
第三章	記錄和分辨反射波和折射波的原理	253
第一節	地面震動的記錄	253
第二節	分辨反射波和折射波的方法	256
第四章	地震儀及其管理	259
第一節	油阻尼電磁檢波器及其調整	259
第二節	現代的地震擴大器	263
第三節	振幅自動控制器	269
第四節	振幅半自動控制器	271
第五節	混波器	275
第六節	十二道線的示波器	278
第七節	地震車的輔助儀器	285
第八節	地震探勘的實際操作	288
第五章	地震波的野外觀測	290
第一節	緒言	290
第二節	產生地震波的條件	292
第三節	記錄地震波的條件	294
第四節	爆炸點與檢波器間最合適的距離	297
第六章	地震波的時距曲線	298

第一節	時距曲線的定義	298
第二節	直達波的時距曲線	298
第三節	反射波的時距曲線	299
第四節	折射波的時距曲線	301
第五節	直達波、反射波及折射波等的時距曲線之間的關係	304
第六節	初至波的時距曲線	306
第七節	時距曲線的作法	307
第七章	時距曲線的解釋	308
第一節	反射波時距曲線的解釋	308
第二節	折射波時距曲線的解釋	312
第三節	複雜形狀的分界面	317
第四節	地質解釋	319
第五節	平均速度的測定	321
第八章	觀測系統	323
第一節	反射波的觀測系統	323
第二節	折射波的觀測系統	329
第九章	地震探勘的實例	331
第一節	地震探勘的一般任務	331
第二節	由泥質砂岩組成及覆蓋的背斜構造	332
第三節	鹽丘構造。結晶基層的表面	337

第五篇 地下地球物理

第一章	電法測井	342
第一節	基本觀念	343
第二節	測井	349
第三節	自動記錄	356
第四節	各種干擾	359
第五節	岩石的電阻率	361
第六節	電阻率曲線	364
第七節	油井及岩層厚度的影響	367
第八節	電極系	370
第九節	離差法測井	373

第十節	自然電位曲線	373
第十一節	電測井的應用	377
第二章	其他測井法	386
第一節	放射性測井	386
第二節	放射性測井的應用	388
第三節	機械測井	390
第四節	螢光測井及氣測井	391
第五節	熱測井	392
第三章	幾種井下操作法	393
第一節	液體電阻測量法	393
第二節	溫度測量	394
第三節	井徑規	399
第四節	液面的測定	400
第五節	油井彎曲的測定	401
第六節	打眼及取岩樣	404
第四章	配備	408
第一節	絞車	408
第二節	井口盤	409
第三節	電纜	409
第四節	電測車	412

第三篇 電法探勘

第一章 電阻法

第一節 關於電阻法的一般知識

對地殼上層用地球物理方法進行調查，如果這種調查方法是以各種岩石電阻的區別為基礎的，那末它就稱為電法探勘。這些方法利用人為地通入地下的電流（直流或交流）或地下自然電流的分佈規律。完全可以理解：為了有成效地利用電測，就要求為電測所研究的目的物的電阻與其周圍岩石的電阻有所區別。所研究的目的物的電阻與其周圍介質的電阻間的差別越大，用電法來探測目的物的成功可能性也就越大。

岩石的電阻或電導（電阻的倒數）的變化範圍是很廣的。表示岩石其他物理性質——如導磁性，密度，彈性等——的數值或參數^①的變化是不大的，而岩石的電阻却可由不到一個單位變到數十萬甚至數百萬單位。例如石灰岩電阻較為淡水所飽和的砂層的電阻大數萬倍，而石油則較之大數萬萬倍；金屬礦的電阻較之小數千倍。如果注意到諸岩石電阻率間有着懸殊的差別，就可以想到，用電測法研究地殼構造或探索礦藏，是有廣泛發展的可能性。但是實際上，使用此法的成果受到了很大的限制，原因是因為地質構造的電阻並不是不變的。岩石孔隙中，水的含量（濕度）或岩層水中鹽的含量都能對岩石電阻值發生巨大影響。岩石孔隙中含水越多，溶解於流水中的鹽量越多，岩石的電阻就越小。例如，乾砂層的電阻較充滿淡水的砂層的電阻大一百倍或一百倍以上，而後者又比為鹽水充滿的砂層的電阻大數十倍。岩石之所以

^① 在地球物理中，這種表示岩石物理性質的數值就稱為參數（原為希臘字 parametron——有「量出」之意）。

能够導電，是因為岩石孔隙中的溶液能够導電。岩石固體顆粒的導電性是很小的。

可以用兩種電測法來研究地殼，即地面電測法和地下電測法。地面電測法通常又稱為野外電測；地下電測法是用儀器在井內進行電測的方法，又稱為電測井(Кароттаж)。現在，我們只敘述一下野外電測。

根據在調查時所應用的電流的特性，野外電測法可分為兩大類：(1) 直流電測，(2) 交流電測。

屬於第一類的有：

(甲)自然電流法；

(乙)電阻法。有兩種形式：電測深(縮寫BЭЗ)及電測剖面。

第二類包括：

(丙)線圈法；

(丁)等電位線法；

(戊)強度法；

(己)感應法；

(庚)測波計法(電波法)。

在探勘深數百公尺的地質構造時，現在都採用直流法，並且多半都用電測深法；而很少用電測剖面法。在調查深度為 100—200 公尺的地質構造時，在探勘深度較小(不到 200 公尺)的礦藏時，可以用直流法，也可以用交流法。

由於儀器及設備都比較簡單，也由於測量的進行靈活而又迅速，電測法，尤其是直流電測法，在最近十至十五年來在蘇聯的許多工業部門中都得到了廣泛的應用。在探索石油、煤、鐵及其他礦藏時，電測法很成功地解決了地質問題。在石油及煤礦工業方面，主要是採用兩種電阻法，而在調查礦區時，直流法和交流法都要應用。電測法(主要是直流法)也可用於水文地質及工程地質。在這方面電測可以解決很廣泛的問題：研究地下水流，探索礦水，調查喀斯特現象，調查巨大建築(如堰，堤，巨大的工業建築等)的基礎。直流電測法也可以用於築路事業方面可以探勘

鐵路的設計路線並觀察路基情況。在冰封區內，在喀斯特地形發展的區域內，用直流電測法觀測路基尤爲重要。電阻法和自然電流法也廣泛地用來研究地下導管的路線，這樣就有助於採取必要方法來防止地下金屬設備受到侵蝕。

在蘇聯，電測法主要地用來探勘油氣田。1929年以來，在東部地區(烏拉爾烏爾斯加油區)，中亞細亞，高加索，克里木，烏克蘭等廣大地區內，都用電法探勘進行過調查。僅在最近六年內，就在含油區內用電測法調查了50 000平方公里以上的面積。把電測法與其他地球物理方法及地質探勘法配合起來，就開發了一連串的油氣田。其中有名的有：莫洛托夫省的克拉斯諾堪及塞威羅堪油田(石油)，巴什基爾的土馬金，卡爾林及基澤布拉托夫油田(石油)，薩拉托夫省的葉爾山(石油)及庫爾鳩(天然氣)油田，古比雪夫省的亞馬拉克(天然氣)，牟漢諾夫，亞布勞諾夫(石油)油田，契卡洛夫省的蘇爾丹諾夫(天然氣)油田。現在，用電測法探勘儲油(氣)區時，最好用直流法，尤其是電測深法。交流法中用到石油工業方面的是線圈法，此法在格爾經半島及克里木油區內得到了良好的結果。

在儲油區進行電測時，電阻法起着主要的作用。所以我們首先敘述它一下。

在電測法所要研究的，就是電流通過地下時地下發生的現象。一個電荷所發生的吸力或斥力所能達到的空間，我們知道，叫作電場。在電測法中，我們所要研究的就是電流流入地下時地下所產生的電場。

要電流能夠通入地下，就要求大地具有導電性。流入地下的電流，其強度決定於岩石導電率，電阻率。導電率越高(或電阻率越低)，電流就越強，而電阻率越高，電流就越弱。這樣一說，我們不難看出，岩石的電阻率就成爲電測所研究的基本物理現象。電阻率就是標誌物質阻電性(即阻止電流通過的性質)的物理量。現在我們就講一講電阻率，並研究一下各種不同岩石的電阻率有多大。

第二節 岩石的電阻率

高度 1 公尺，截面 1 平方公尺的岩石立方體的電阻，就稱為該岩石的電阻率。

岩石電阻率的單位是歐姆·公尺，這單位可直接由歐姆定律的公式得出。我們知道，導體電阻 R 可由下式得出：

$$R = \rho \frac{l}{s},$$

式中 ρ ——導體材料的電阻率；

l ——導體長度；

s ——導體截面積。

電阻單位為歐姆，而導體長度及截面積的單位各為公尺及平方公尺，我們得出

$$\rho = R[\text{歐姆}] \frac{s[\text{公尺}^2]}{l[\text{公尺}]} = R \frac{s}{l} [\text{歐姆} \cdot \text{公尺}].$$

我們知道，在物理學中，高度 1 公分，截面積 1 平方公分的某物質的立方體的電阻就是該物質的電阻率。因此，在物理學中電阻率的單位是歐姆·公分，即電阻法中電阻率單位歐姆·公尺比它大 100 倍。

在表 11 中，列舉了一些岩石，礦物，金屬及其他材料的電阻率的近似值。

此表中所列舉的電阻率值是各個實驗者在野外和實驗室中測得的。當然，這些數值僅能表示岩石電阻率大概是在那個範圍之內。

表 11

岩 石 名 稱	電阻率以 OM M 表示
火成岩及變質岩	
玄武岩	2×10^4
片麻岩	$2 \times 10^2 - 5.4 \times 10^4$
花崗岩	$3 \times 10^2 - > 10^4$

岩 石 名 稱	電阻率以 OMM 表示
輝綠岩	$2 \times 10^{-2} - 2 \times 10^4$
閃綠岩	5×10^4
石英岩	$10 - 2 \times 10^5$
結晶頁岩	$2 \times 10^2 - 2 \times 10^4$
大理石	$10^2 - 10^5$
水 成 岩	
無水石膏	$10^3 - 10^5$
含鹽永粘土	$0.5 - 10$
泥岩	$4 \times 10^{-4} - 9 \times 10^2$
石灰岩	$6 \times 10 - 5 \times 10^5$
岩鹽	$3 \times 10 - > 10^5$
礫岩	$2.5 \times 10 - 1.15 \times 10^4$
泥灰岩	$0.5 - 7 \times 10$
砂層	$1 - 5 \times 10^3$
飽和淡水的砂層	10
飽和鹽水的砂層	$0.2 - 4$
砂岩	$3 \times 10 - 1 \times 10^5$
壩母土	$10 - 4.5 \times 10^2$
金屬及金屬礦石	
銅	$1.5 \times 10^{-8} - 1.5 \times 10^{-3}$
鋳	$1 \times 10^{-7} - 1.5 \times 10^{-3}$
黃鐵礦(含硫銅礦)	$6 \times 10^{-4} - 1 \times 10^{-6}$
黃銅礦(含銅礦)	$1.5 \times 10^{-4} - 3.5 \times 10^{-4}$
可燃性的礦物	
烟煤	$9 - 2 \times 10^2$
石炭(無烟煤)	$1 - 2 \times 10^5$
石油	10^{12}
天 然 水	
井水	$10^{-1} - 1$
海水	6×10^{-1}
淡水	$10 - 10^2$

第三節 正常電場，一點及兩點電極的電場電位

假設有一均勻的各向同性的導電介質，那也就是假設具有某一以 ρ 表示的不變電阻率的、其物理特性為各向相同的介質。我

們再假設，這種介質，其上為電流不良導體的、僅是一層平的分界面的空氣所隔絕。同時，假設有直流電流流入這個介質。在這些情況下所產生的電場，就稱之為正常電場。我們準備來確定一下它的某些規律性。

在研究正常電場之前（為了瞭解電阻法的原理，這種研究是必要的），我們先來觀察一些現象。藉助於插入此介質中的金屬棒，電流導入介質中，因此在介質中形成電場，這個棒就稱為電極。電極是由導線及電源夾子相聯的。電流在介質中從聯於電源正極流向聯於負極的電極。當研究電場時，電流的供給方法是沒有關係的，同時二電極中的每一個都可以當作正的或負的。

我們來看一些較重要的現象。正如理論所指出的，當研究電場時，可以不考慮電極的形狀，認為接地是一點，而這些點供給同樣強度的電流，正如有一定形狀電極所供給的一樣。

那末，我們假設藉助置於空氣與介質的分界面上的兩個點電極 A 及 B ，把強度為 I 的直流電導入電阻率為 ρ 的均勻的、並且各向同性的介質中。我們來研究一下為這個電流所引起的正常電場。設若電極 A （圖 79）聯於電源（例如，許多單個乾電池的電池組）正極，電極 B 聯於負極。電流 $+I$ 經電極 A 進入介質中，電流 $+I$ 經電極 B 從介質中流出，那也就是說，電流 $-I$ 經 B 點流入介質。介質中的電流由 A 沿着某些線向各方面流散，這些線稱為電流線。電位降就沿着這些線而產生。在電場中的任一點都可以該點的電位來計算其值。

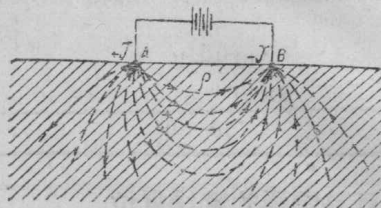


圖 79

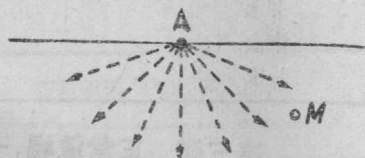


圖 80

從一個電極 A （圖 80）流出的電流情形來研究它在介質中形成

的正常電場，這裏我們首先來決定在這電場中某一點 M 的電位公式。從電學中可以知道：場的任意點的電位，是相對地決定於一個無限遠的點，該點的電位等於零。因為根據上面假設的條件來說，我們所研究的介質是均勻的，也是各向同性的，由 A 點流出的電流將沿着直線散開，同時，在離 A 點等距離處的電位降將是相同的。我們以 V'_M 表示 M 點的未知電位值。假若把介質中所有與 M 點電位相同的各點連接起來，那末我們就得到一個半球形的表面，這個表面是以 A 點為中心，其半徑 $r = AM$ ，並且球面通過 M 點。顯然，通過其他電位數值相同的各點，我們可以任意地作出一個表面，同時所有的這些表面將都是具有同一中心(在 A 點)，而不同半徑的半球。連接電位相同各點所構成的表面，稱為等位面。電流線是垂直於這些表面的。

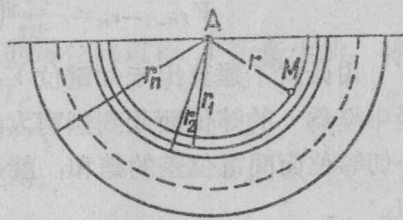


圖 81

經過點 M ，我們劃一個以 A 點為中心，而半徑為 r 的半球形等位面(圖81)。然後，我們用繼續增大半徑 $r_1, r_2, \dots, r_n$ ，以同一圓心作出一系列的

半球形等位面，不過要使得這

些半徑之間的差別很小，而最後的半徑 r_n 的值是非常大的。從

半徑為 r 的半球面移到半徑為 r_1 的表面上時，電流強度為 I 的電流

在二表面間就產生電位差 $V'_r - V'_{r_1}$ ，這電位差以 $V'_r - V'_{r_1} = IR$ 表示

之，其中 R 為所取之二半球間介質之電阻。根據歐姆定律的公式

$R = \rho \frac{l}{S}$ (ρ 為介質的電阻率； l 為二半球形表面間的距離； S 為半球的表面面積)。

在我們的這種情況中，半球表面間的距離等於 $r_1 - r$ ；半徑為 r 的半球；其表面面積為 $2\pi r^2$ 。根據所假定的條件相隣二半球的半徑，它們相差很少，所以就可以拿 $2\pi r r_1$ ，代 $2\pi r^2$ ；這就使得公式的結果簡化了。

如此，在半徑為 r 及 r_1 的半球形表面間的介質，其電阻以下面的公式表示：

$$R = \rho \frac{r_1 - r}{2\pi r r_1} = \frac{\rho}{2\pi} \left(\frac{1}{r} - \frac{1}{r_1} \right).$$

二表面間的電位降將為

$$V'_{r-r_1} = IR = \frac{I\rho}{2\pi} \left(\frac{1}{r} - \frac{1}{r_1} \right).$$

用與此相同的方法，我們精確地得出半徑為 r_1 及 r_2 的兩半球間的電位降數值：

$$V'_{r_1-r_2} = \frac{I\rho}{2\pi} \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right).$$

對於相臨一對最後等位面可以得出類似的公式：

$$V'_{r_{n-1}-r_n} = \frac{I\rho}{2\pi} \left(\frac{1}{r_{n-1}} - \frac{1}{r_n} \right).$$

由此就不難算出未知電位 V'_M 。從電位的概念中得出結論：從半徑為 r 的等位面起到無窮大的等位面止，在此二等位面間，一切等位面間電位差的總和，就是半徑為 r_n 的等位面的電位，亦即：

$$V'_M = V'_{r-r_1} + V'_{r_1-r_2} + \dots + V'_{r_{n-1}-r_n} = \frac{I\rho}{2\pi} \left(\frac{1}{r} - \frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} + \dots + \frac{1}{r_{n-1}} - \frac{1}{r_n} \right) = \frac{I\rho}{2\pi} \left(\frac{1}{r} - \frac{1}{r_n} \right).$$

由於從 A 到極遠的點間的距離 r_n 是無限的大，因此就可以使 $\frac{1}{r_n} = 0$ ，因此

$$V'_M = \frac{I\rho}{2\pi r}.$$

點電極 A 到 M 點之距離為 r ，並且在電阻率為 ρ 的介質中通以強度為 I 的電流，由此電極所建立之正常電場，其中某點 M 的電位就以上式表示之。

實際上，爲了在介質中產生電場，我們就必須用兩個電極金

屬棒，而此兩極分別聯於電源之兩極上。因此，當計算某點的電位時，應當考慮到兩個符號不同的電極的影響。兩個電極產生的電場，關於其電位的問題，當解決了關於一個電極電場的問題後，就可以很容易地解決了。

按照所謂場的重疊原理，由二電源所形成的任一點的電位是很容易求得的，那就是求出二電源分別在此點所產生的電位，然後再求出其代數和即可。

我們再研究一下兩個接地 A 及 B 的電路（圖82），同時算出介質中為二接地所造成形成的某點 M 的電位。我們仍然假設：電極 A 是聯於電源的正極，該電源在介質中供給強度為 I 的電流，而電極 B 是聯於負極，那也就是電流 $+I$ 經過電極 A 流入介質中，而電流 $-I$ 經過電極 B 流入介質中。我們分別以 r_1 及 r_2 表示 M 點距電極 A 及 B 的距離。

正如上面所得出的一樣 M 點的電位為電極 A 所產生的，將是：

$$V'_M = \frac{I\rho}{2\pi r_1}.$$

電極 B 在 M 點所產生的電位為：

$$V''_M = -\frac{I\rho}{2\pi r_2}.$$

兩個電極在 M 點所產生的總電位 V_M 是以電位的代數和表示的：

$$V_M = V'_M + V''_M = \frac{I\rho}{2\pi} \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right). \quad (1)$$

這公式使得我們可以決定電場的任一點的電位的數值，尤其

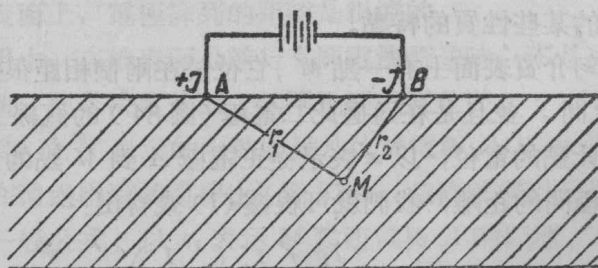


圖 82

是在電極排列的介質表面上的電位數值。

在空間連接數值相同的各點的電位，我們得到一系列的等位面，這些等位面的分佈將標誌出電位在空間的分佈情況。在佈置

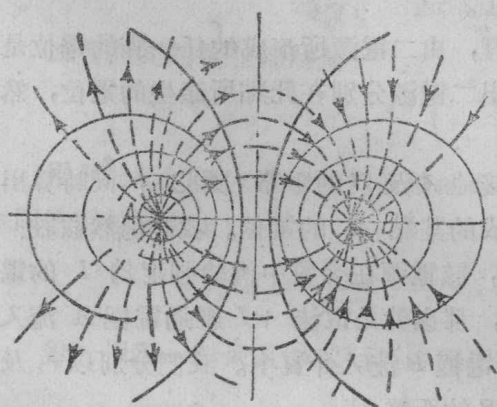


圖 85

電極的介質表面上，連接相同電位數值的各點就得出一系列等位線，它表示出此表面上的電場結構。很容易想像出，在介質表面上的等位線就是介質等位面的橫截線。

在均勻介質中，兩接地 A 及 B 的電路其電場

電位是以平面圖示於圖83

上，這個圖是藉助於公式(1)計算出來的。實線是等位線，而虛線是電流線，電流線是垂直於等位線的。在直流電的電法探勘理論與實用中，兩點接地的正常電場是主要的。由於對這種場加以研究的結果，就創出了電阻法。

第四節 在介質表面上電場的電位。介質電阻率的決定

在電測中所研究的場，僅只是有關地表面的那部分場，那就是有關地球與空氣分界面(在此面上置有電極)的那一部分場。我們可以進行直接觀察的只有場的這一部分。因此研究介質表面上的場的性質是有着特別實際的意義的。我們研究一下兩點接地的正常電場的某些性質的特點。

在均勻介質表面上有一點 M ，它位於在兩個相距很遠的電極 A 及 B 之間，並且是在通過此二電極(圖84)的直線上。我們研究一下此點的電位，以 x 表示從正電極 A 到 M 點的距離，而 L 表示電極間的距離，我們就可根據(1)式得出：

$$V_M = \frac{I\rho}{2\pi} \left(\frac{1}{x} - \frac{1}{L-x} \right). \quad (2)$$