

物探方法概论

何澤慶 著

地质出版社

56.29
291
3

物探方法概论

何澤慶 著

內 容 介 紹

本書較全面地介紹了物探的各種方法。全書共分六章：重力勘探、磁力勘探、電法勘探、地震勘探、放射性勘探、鑽井物探。每章中都詳細介紹了該種方法的原理，解釋法，實例和儀器。作者在介紹物探的各種方法和基本理論時，均是以深入淺出的方式來描寫，所以對於初學的人、想瞭解物探的人以及地質勘探院校的學生均非常適用。

物探方法概論

著 者 何 澤 慶

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010號

發 行 者 新 華 書 店

印 刷 者 地 質 印 刷 廠

北京广安門內教子胡同甲35號

印數(京)1—1,600冊

1957年11月北京第1版

開本31⁷/₁₆×43⁷/₃₂

1957年11月第1次印刷

字數86,400

印張3²¹/₃₂

定價(10)0.50元

目 錄

序 言	3
緒 論	4
第一章 重力勘探	5
§ 1. 重力勘探的理論基礎	5
§ 2. 重力異常測定的原理	7
§ 3. 重力異常的圖形表示法及異常圖的解釋	13
§ 4. 重力勘探的应用实例	17
§ 5. 重力勘探应用的条件	20
第二章 磁力勘探	24
§ 6. 理論基礎	24
§ 7. 磁異常測定的原理	27
§ 8. 磁力勘探結果的解釋	29
§ 9. 磁力勘探的实例	34
§ 10. 磁力勘探的应用条件	37
第三章 電法勘探	39
§ 11. 岩石的電阻率	39
§ 12. 電測深法	40
§ 13. 電測剖面法	55
§ 14. 等電位綫法	59
§ 15. 充電法	60
§ 16. 綫圈法	61
§ 17. 自然電流法	65
第四章 地震勘探	66
§ 18. 理論基礎	66
§ 19. 彈性波勘探的仪器和方法	69

§ 20. 震波記錄的整理及解釋·····	73
§ 21. 地震勘探实例·····	80
§ 22. 地震勘探的应用条件·····	81
第五章 放射性勘探·····	83
§ 23. 放射性勘探法的理論基礎·····	83
§ 24. 放射性勘探的工作方法和仪器·····	85
§ 25. 放射性勘探的应用·····	87
第六章 鑽井物探·····	89
§ 26. 电測井·····	89
§ 27. 井徑和井斜的測定·····	91
§ 28. 井F漏水口深度的測定·····	91
§ 29. 井壁取样·····	93
§ 30. 其他几种測井方法·····	93
結 論·····	94

序 言

本書原來是為長春地質勘探學院“地球物理勘探方法”一課程所寫的講義，課程是為地質專業方面的學生開的，原稿經過了兩次修改，成為現在這樣。

在編寫和修改時，主要是力求簡單明了，因此就把一些我認為較次要的東西去掉了。這樣做當然會使內容不夠豐富和全面，而且由於選材不當也可能把重要的去掉了，這是缺點；但是這樣做也許能給初學這門技術的人一些方便，這是我希望它具有的優點。究竟是否適於讀者需要，只有請讀者自己來評判了。但是不管怎樣，由於受作者能力的限制，書中一定存在很多問題，有時甚至是錯誤，希望批評指正。

最後，在修改這份稿子的過程中，崔垂虹同志曾提了不少寶貴的意見，作者謹在此向他致以深切的感謝。

1957年3月 長春

緒 論

物探方法是地質找礦与勘探方法中的一种，和地質測量、鑽探、槽探等一样是整个地質工作中的一种方法，是綜合性地質工作中的一个組成部分。其实質就是用物理的方法來研究地質情况，解决找礦与勘探中的問題。

現今，在作概略的地質調查、大面積的普查、尋找和勘探金屬礦床、尋找和勘探油田、研究与水文地質和工程地質有关的構造問題等工作中，都广泛地应用着各种物探方法。

物探方法之所以能用來研究各种地質問題，是因为各种不同的岩石或礦石往往具有不同的物理性質。例如有的岩石密度大，有的則密度小，有的岩石或礦石有很好的傳導电流的特性，有的則不導电或不易導电。由于岩石有不同的物理性質，它們对地面上的物理仪器就有不同的作用，所以根据物理仪器上測量結果的差別，就可以判断地下岩石的差別，解决一定的地質問題；这就是物探方法的本質。

被物探方法所利用的岩石的物理性質除了密度和導电性之外，还有磁性、彈性和放射性等。因此物探方法实际上包括有重力勘探（利用岩石的密度差別）、磁力勘探（利用岩石的磁性差別）、电法勘探（利用岩石电性質的差別）、地震勘探（利用岩石的彈性差別）、放射性勘探（利用岩石的放射性差別）、鑽井物探等。

因为各种物探方法都使用一些比較精密而複雜的仪器，所以工作起來可能比一般的地質測量工作麻煩；但是物探方法可以不依靠岩石的露头來研究地下較深处的地質情况，这是它們比一般地質測量工作优越的地方。物探方法所以具有这个优点，是因为某些物理作用能夠透过隔离物。譬如，我們若用紙把一塊磁鉄包起來，而后使他靠近一个罗盤，可以發現，磁鉄对罗盤仍有作用，並沒有因被紙裹而有所改

變。這表示磁力的作用是可以透過紙張的。正是這個道理，所以雖然我們在地面上不能看到和摸到地下的岩石，但用物探方法仍能研究地下深處的地質情況。從這個特點上來看，物探有些象鑽探和槽探，因為它們也能研究地面下深處岩石分布的情況。

根據上述物探方法的本質和特點，就可以了解它在找礦與勘探工作中的意義。因為物探方法跟鑽探和槽探一樣，能夠研究地下深處岩石分布的情況，所以在很多情況下物探方法能解決鑽探和槽探所能解決的問題。大家知道，鑽探和槽探都是費用比較大的勘探方法，打一個足夠深的井要化很多錢，並需要很多時間，幾天幾個月，甚至一兩年；而用物探方法進行一次測定，最多幾小時（地震和電法勘探），有的僅幾分鐘（重力和磁力勘探），所需費用也極少。由此可見，在綜合的地質勘探工作中，假如能適當的運用物探方法，就可大大降低找礦與勘探工作的費用，並提高工作的速度。正是從這個意義上來講，物探方法是一種具有重大國民經濟意義的技術。

第一章 重力勘探

§ 1. 重力勘探的理論基礎

在地面上任何一個物體都有一個重量，也就是說，都受到一個重力。當這物體不受其他力作用時，就會有一個加速度。重力加速度和重力間的關係，根據牛頓第二定律，是

$$f = m_1 g, \quad (1, 1)$$

其中 f 是重力， m_1 是物體的質量， g 代表重力加速度。若令公式 (1, 1) 中的 m_1 為 1，則 $f = g$ 。故知 g 實際上就是單位質量所受的重力，因此常簡稱之為“重力”。

在普通物理學中我們知道，加速度的單位是厘米/秒²，這個單位在重力勘探中用“伽”字代表。“伽”是紀念第一個研究重力加速度的偉大學者伽里略。在重力勘探中嫌伽太大，常用“毫伽”，毫伽即 1/1000 伽，亦即 1/1000 厘米/秒²。

根据实验知道，地面上的物体所以有重量是因为任何两个物体之间都存在一种引力，这就是所谓牛顿的万有引力。万有引力的大小由下式决定：

$$f = K \frac{m_1 m_2}{r^2}, \quad (1,2)$$

其中 m 和 m_1 是两个物体的质量， r 是他们间的距离， K 是一个比例常数，称为万有引力常数，由实验测定知其值为 $6.67 \times 10^{-8} \text{ CGS}$ 单位。若令 m_1 为 1，则单位质量所受的重力，即 g ，为下式决定：

$$g = K \frac{m}{r^2}, \quad (1,3)$$

力的方向是两物体连线的方向。根据这个公式可知，由物体 m 在其周围任意一点所引起的重力值和物体的质量 m 成正比，和距离的平方成反比。

地面上的重力值，大家知道大约是 980 伽，即 980 厘米/秒²。但若进行准确测定，则可发现：重力值并非各处相等，而在某些局部地区，其值显然和周围不同。重力值的这种局部性的差异，就称为重力异常。异常，就指异于平常，异于其周围。重力异常往往和地表面下一定的地质情况有关。正因此，所以研究了重力异常大小变化的规律，就可以得到地下地质情况的资料，重力勘探的实质就在于此。

何以重力异常会和地表下地质情况有关，这可用例子来加以说明。假定说，某区地面下基本上是一种均匀的岩石，但有一处有一密度较围岩为大的矿体（如图 1 所示）。在这种情况下，在矿体处实

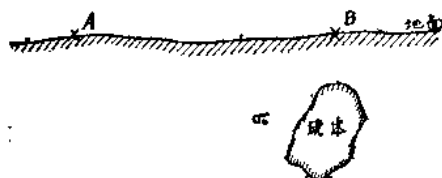


图 1

在较其他地方多了一些质量。假如围岩的密度用 ρ_0 代表，矿体的密度用 ρ_1 代表，体积用 V 代表，则显然矿体处多余的质量是

$$m = V(\sigma_1 - \sigma_0), \quad (1,4)$$

顯然，这多余的質量对其他物体会引有引力。但根据(1, 3)式知，重力值 g 和距离的平方成反比，而今 A 点离这多余的質量較 B 为远。因此知，这引力在 B 点較 A 点为大，亦即在礦体上方有了一个重力異常。地下特殊的地質情况会引起重力異常，其原因就是如此。因此，测定和研究重力異常，是重力勘探的基本問題。

§ 2. 重力異常測定的原理

象前面所講的，重力異常值就是指在一个局部地区，其重力值和周圍地区的差別。但是要把一个地区重力異常的分布的情况表示出來，除可依靠說明各处重力值的差別之外，也可利用重力变化率；正好像我們要表示一个地区的地形，除可标明这个地区的比高之外，也可以采用高度的变化率——地面的斜率——或傾角。所謂重力变化率，就是指在水平方向單位距离上的重力变化值。例如：从地面上一点到地面上另一点重力值的改变是 $\frac{1}{10}$ 毫伽，而兩点之間的距离是1000厘米(10米)，那么重力变化率是

$$\frac{\frac{1}{10} \text{ 毫伽}}{1000 \text{ 厘米}}$$

因为1毫伽等于千分之一厘米/秒²，因而上面这个重力变化率就等于：

$$\frac{\frac{1}{10} \cdot \frac{1}{1000} \frac{\text{厘米}}{\text{秒}^2}}{1000 \text{ 厘米}} = 10^{-7} \frac{1}{\text{秒}^2}$$

由此可見，在CGS單位制中，重力变化率的單位應該是 $\frac{1}{\text{秒}^2}$ 。但是在重力勘探中嫌这个單位太大，因此常采用另一个單位“厄缶”^①，用字母 E 代表。厄缶的定义是：

$$1 \text{ 厄缶} = 10^{-9} \frac{1}{\text{秒}^2}$$

①这是紀念第一个测定重力变化率的匈牙利物理学家厄缶(Eötvös)。

愛特缶

既然重力用字母 g 代表，因此重力異常就用 Δg 代表，重力变化率用 $\frac{\Delta g}{\Delta s}$ 代表，因为 s 常用來表示距离。

从上面的討論可以想到，尋找重力異常可能有兩種方法：一种是測定不同的地点間重力值的差別，即 Δg ；另一种是在地面上直接測定每一点的重力变化率 $\frac{\Delta g}{\Delta s}$ 。这两种不同的測定方法所用的仪器也不同：測定 Δg 的仪器称为重力仪；直接測定重力变化率 $\frac{\Delta g}{\Delta s}$ 的仪器称为扭秤。因为一般礦体或地質構造所引起的重力異常是極小的， Δg 一般只有几个到几十毫伽，而 $\frac{\Delta g}{\Delta s}$ 也只是几十到几百 E ，所以

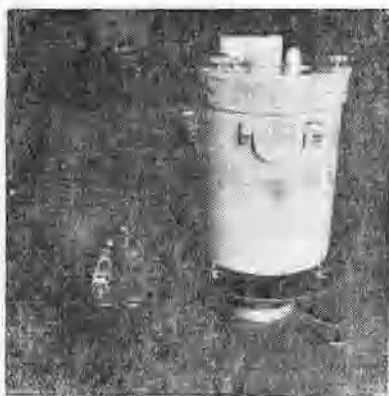


圖 2

重力仪和扭秤都是極灵敏和精細的仪器，下面分別介紹它們的基本原理。

(1) 重力仪

重力仪的类型很多，但除細節外原理都差不多，因此取一种來討論就夠了。下面介紹一种苏联的 ΓKA 式重力仪的基本構造原理。

ΓKA 式重力仪的外形如圖 2 所示，其核心包括三个主要的部分（參看圖 3），即：重荷 M ，被灣

成圓形的彈簧片 C ，和安置重荷 M 的橫樑 A 。橫樑 A 可繞水平軸 O 旋轉。彈簧片 C 本是直的，如圖中虛綫所示，人力將其弯曲后，与 M 相連，因而作用在 M 上一个向上旋轉（逆时針方向）的力矩。另一方面，杆 A 和重荷 M 受地球的重力作用，有一个使杆作順时針方向旋轉的力矩。彈簧片作用的力矩若和重力作用的力矩互相平衡，杆 A 就靜止在一定的位臵。很明顯，假如重力 g 增加，則重荷和杆一定会下垂些；反之，若重力 g 減小，杆就会上升些。因此根据杆子的下垂和上升就可以判断重力值的变化。这就是这种仪器能夠測定重力变化的根本道理。

因为重力变化一般总很小，所以杆的平衡位置变动也极微小，直接用肉眼是看不出的。因此为测定重力变化，要用特殊的光学设备来观察杆 A 的转动，这个设备基本上如图 4 所示。

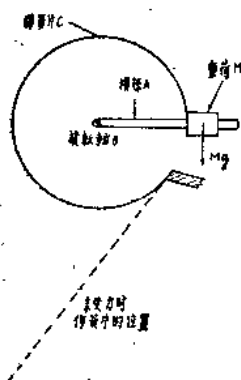


圖 3

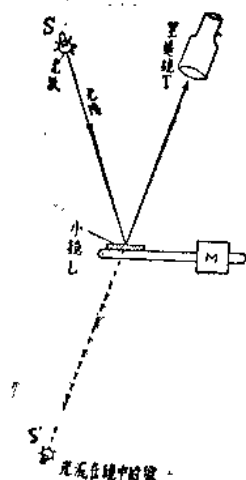


圖 4

光线从光源 S 射到小镜 L 上，反射后进入望远镜筒，被人看到。人在镜筒中所看到的，显然是光源 S 在 L 上所成的象 S' 。 S' 的位置对镜面 L 说和 S 是对称的，因此当杆 A 旋转而镜面 L 亦随之旋转时，象 S' 就会移动，移动的情况能从望远镜筒中详加观察。我们就是用这个原理来观察杆 A 的微小转动。这种观察微小转动的方法，在许多物探仪器中都被采用，因此特别值得注意。

重力仪的基本原理虽如上述十分简单，但实际上重力仪却相当复杂，这是因为它必须是十分灵敏的缘故。下面我们讨论由于需要的灵敏度高而对重力仪所提出的要求。

(a) 灵敏度和测读范围间的矛盾 首先可以想到，要使测定的灵敏度高，就要求：即使当重力值变化很小时，在望远镜筒中象 S' 移动的距离也相当大。但是当重力变化较大时，象 S' 会跑得太远，从望

远鏡筒中干脆就看不見了（从反光鏡反射上來的光因为偏得太利害，就沒有射到望远鏡筒 T 中去）。为了克服这个困难，就在橫樑上再多安一个小的彈簧 D （參看圖5），其上端和一个螺旋測微儀器 R 相連。旋轉測微器可以把彈簧上端向上提或向下放。每当重力值增加得太

多，小鏡 L 偏轉太大而从鏡筒中看不見象 S' 時，我們就旋轉測微螺絲 R ，把彈簧 D 向上拉，把象 S' 拉回來。

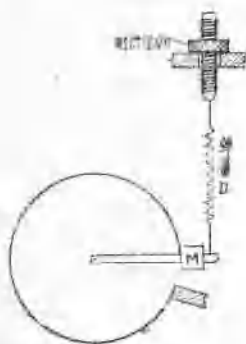


圖5

此外，彈簧 D 在重力儀中，除了起上述的作用之外，还被用來測讀重力值。通常，在每个測点上，都用測微螺絲把 S' 調節到一定的位置。这样，那里重力大，就把測微螺絲多轉几轉，把 D 向上拉；那里重力小，就把測微螺絲反轉，使彈簧 D 向下松。从而根据測微螺絲角度的变化，就可以知道重力值的变化。測微螺絲角度的

变化，和重力值变化間的比例常数，通常称为格值。这格值，就是測微螺絲讀数盤上每一刻度所相当的重力值。知道了一个儀器的格值，又知道在两个不同地点測微螺絲位置間所相差的度数，兩者相乘，就可得到兩点間的重力差。

（b）温度和儀器水平的影響 当儀器的灵敏度很高時，很多其他的因素都会產生干擾。例如由于儀器放得不平，或由于温度改變而使彈簧片彈力改變，其影響往往會比重力改變的影響還大。因此若不注意這些影響，就會使測量的結果完全不對。為了避免這些影響，故在儀器上安有水准和恒温器，前者是為了把儀器擺平，后者是為了使儀器內部的温度固定。

（c）鎖止裝置 因为重力勘探中所研究的重力变化数值都很小，所以重力儀必須是很精細的，因此也一定是脆弱的。例如在ГКА重力儀中，橫樑 A 的旋轉軸是一根很細的拉緊了的鎢絲。稍一震動，就能折斷；所以在儀器中要安一个“鎖止裝置”。在不測讀時，我們就用它把橫樑夾住，以免在搬動中由于橫樑振動而造成鎢絲折斷的嚴

重事故。

這問題，對任何其他物探儀器說，也是存在的。因此在物探工作中有個規則：眼睛一離開鏡筒，手就把儀器鎖止好。這規則，是一切要接觸物探儀器的人所必須牢記的。

以上這些，就是重力儀變得不太簡單的原因。此外由於儀器靈敏，稍受較大的震動，內部稍進去一些塵土，都會嚴重地影響儀器性能，降低工作質量。因此對待儀器要十分小心。當兩個測點相距很遠時，為了避免儀器在途中受到搖振，有用飛機搬運的。

一般重力儀的準確度是 0.5 毫伽左右，好的可達到 0.1 毫伽。由於其他方面的限制，再提高準確度目前看來還是困難的。

用重力儀進行野外測定時，布置測點的原則和一般的地質測量相似。若測量的比例尺較小，可以採用路線測量，把測點沿路分布，這樣一方面可以減少交通運輸方面的困難，並可以利用已有的地形圖，以減少地形測量工作。測定路線的稠密程度，以及在路線上測點的稠密程度，被探測的詳細程度所決定，亦即被測量的比例尺所決定。一般說，測點在圖上的距離大致應是一二厘米。若地質情況沿一定方向具有顯著的延伸性，那麼路線的方向應該基本上垂直於延伸的方向，而路線之間的距離可以較大。

若測量的比例尺較大（萬分之一以上），則單沿已有的道路進行測量，一定会有很多空白地區：這些地區沒有足夠稠密的道路或者即使有道路，但沒做過詳細的地形測量工作。這時，要確定測點的位置必須做較麻煩的地形測量工作，所以多半按規則的網形來布置測點。

通常，一台重力儀配備三四人。如果測點的距離不大，每天可作三四十個點，每點的費用一般是幾角錢。

（2）扭秤

扭秤是直接測定重力變化率 $\frac{\Delta g}{\Delta s}$ 的儀器，這儀器的類型也很多，但因原理全同，故只取一種來討論。

圖 6 是一個所謂 Z——40 型扭秤的外形。其主要部分是：一根細金屬絲 C，兩個重錘 m_1 和 m_2 ，和一根很輕的彎曲成 Z 形的金屬管

4 (圖7)。管4上安有一根細杆，杆上有一小反光鏡L。由于重錘 m_1 和 m_2 位于空間不同的位置，因此假如扭秤所處空間的重力值各處不同，有變化，則 m_1 和 m_2 上就會受到不同的作用力，小鏡便發生偏轉。例如當扭秤接近磁體的時候（如圖8所示），由于從磁體到兩個重荷的距離不同，因此對他們的引力 f_1 、 f_2 也不同。這樣，以細

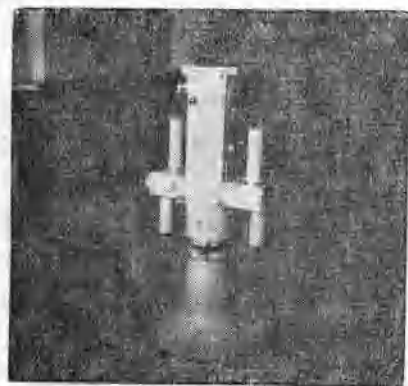


圖 6

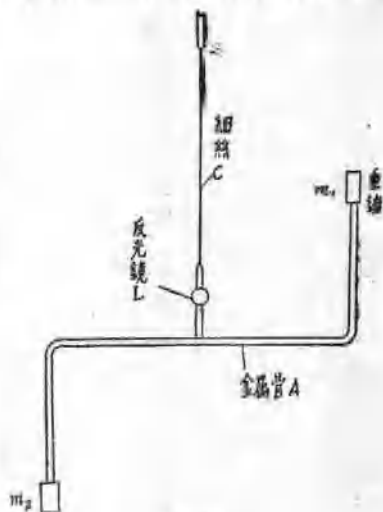


圖 7

絲C為軸，就會有一力矩，使杆旋轉。顯然 m_1 、 m_2 所受的力差別愈大，杆所受的總力矩也愈大，而杆的偏轉也愈大。因此扭秤偏轉的大小，和 m_1 、 m_2 兩重荷所在處重力值的差成比例。但是在这兩處重力值差的大小顯然和重力變化率成比例，變化率大，兩處的差也愈大。故知，扭秤偏轉的大小和重力變化率成比例。扭秤所以能夠測定重力變化率，原理正在於此。

扭秤的原理雖然如此簡單，但實際上用起來並不簡單。因為我們所測的重力變化率一般最大只有几百個厄缶，所以作用在杆上的力矩常是極小的。要想用這樣小的力矩使杆產生一個足夠大的偏轉，懸絲C必須很細。絲若不細，則即使是一個較大的力矩，亦無法使杆扭動。通常扭秤中所用的絲，細達0.03毫米，比一般的頭髮還細得多。

即使如此，通常的重力变化率仍只能使称杆偏轉一个很小的角度。这个偏轉，也象重力仪中那样，利用小鏡 L 來測定。現今一般扭秤的准确度大約是5厄倍。由于扭秤極灵敏，秤杆容易擺动不停，当然也就无法很快測定，因此讀一个数需靜候半小时。此外，由于重力值沿不同的水平方向有不同的变化率，因此为了測定这些不同方向上的重力变化率，应在同一地点按不同的方位測定好几次（一般是三次到五次）。这样，測一个点一般要用兩小时左右。因为測定的時間如此長，很費事，所以現在的扭秤都采用自动照象的測量方法。而且由于灵敏度高，秤旁空气稍一流动，就能使称杆擺动起来。为消除这种干擾，秤扭要放在密封金屬套中，而整个仪器在工作时还要放在一小木屋中，以防止風吹日晒擾动仪器內部，引起誤差。

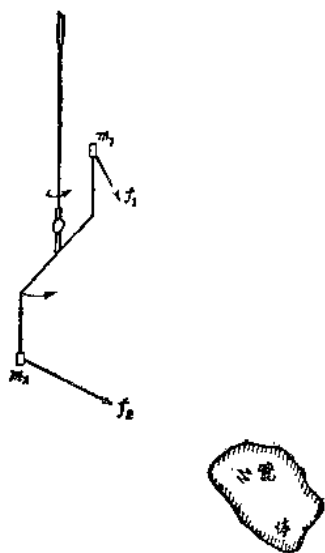


圖 8

通常每台扭秤大約配备四五人，一天能測六七个点到十來个点，每点的費用一般是几元錢。

§ 3. 重力異常的圖形表示法及異常圖的解釋

顯然，單是得到重力異常还不夠，我們的目的是根据这些異常作出一定的地質結論來。这一步工作在物探中便称为推断解釋。要解釋，首先就得把測定的結果用圖表示出來。因此我們把平面圖、剖面圖和变化率向量圖介紹一下。

(a) 平面圖 重力平面圖和地形平面圖很相似（參看圖9），

只是地形平面圖所表示的是地面高度的变化，而重力平面圖上所表示

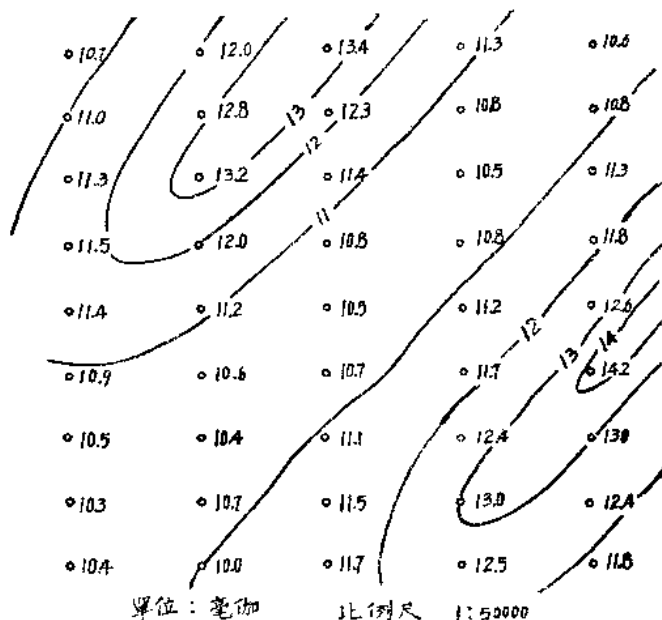


圖 9

的則是重力值大小的变化。地形圖上的等高綫，就相當于重力圖上的等重力綫，同一綫上各点的重力值都是相等的，画等重力綫的方法和測量中画等高綫的方法基本上相同：先把測点的位置和測定的結果

（圖 9 中的小圈及其旁的數字）标在圖上，而后用內插法把等重力綫勾出來。

（b）剖面圖 和地質工作中的情况相似（參看圖 10），對於沿一个水平方向延伸較大的礦体，若取一垂直于走向的剖面

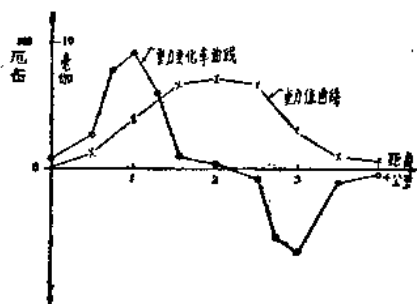


圖 10