

灣台在學理物球地

著 戴運軌
顏滄波

新 知 叢 書
華 岡 出 版 有 限 公 司 印 行





戴運軌
顏滄波
著

地球物理學在臺灣

華岡出版有限公司印行



地球物理學在臺灣

本著係由戴運軌顏滄波教授所合著，內容包括地球物理學研究之對象、方法，以及應用。臺灣之地震史，地球物理學教育，地球物理學研究，地球物理探勘以及臺灣之地質與地球物理。行文由淺入深，引人入勝，實為一本有關臺灣地球物理學之重要參考書。

Geophysics In Taiwan

by

Y. K. Tai & T. P. Yen

中華民國六十五年十二月出版

地球物理學在臺灣

定價：每冊新台幣四十元整

編者：中華學術院

著作者：戴運軌·顏滄波

出版者：華岡出版有限公司

登記證：行政院新聞局版台業字第一〇八二號

發行者：華岡出版有限公司

地址：台北市陽明山華岡于正路一號

電話：八六一〇九二三

郵政劃撥：一〇一四二五號帳戶

門市部：台北市農安街三十五號之一

印刷者：華岡印刷廠

版權所有·不許翻印

編輯要旨

- (一) 本叢書以宏揚中國文化與三民主義，促進中國之文化復興爲目標。
- (二) 本叢書包含科學、人文學、文學與藝術、哲學、宗教等類，旨在啓發新思想，培養新學識，故名曰新知叢書。每書均係最新編輯者。
- (三) 本叢書之撰述人，主要爲大學教授，著名作家及對分科學術有專精研究，而能深入顯出者。
- (四) 本叢書之對象爲(1)大學生之參考用書，(2)社會青年之進修用書，(3)家庭主婦之自修讀物。
- (五) 本書體裁力求簡明扼要，引人入勝。每册以十萬字爲準。
- (六) 本叢書得採論文集方式，即每册分爲若干專題，分章撰述，多人合編，但有完整之系統，作集體之貢獻。
- (七) 本叢書排印，務期清朗悅目，並附索引，以便查考。
- (八) 本叢書預定每年出版一輯。

卷頭語

爲起草本書，略陳數語，以明其由來。國際地球物理學年自民國四十六年七月初至翌年四十七年十一月底共十八個月，是曾經嘗試過的¹最大科學研究的計劃，五千餘位科學家在六十七國政府合作之下，耗資超過六億美元，廣泛地共同努力，來揭開地球、太陽、以及太空的秘密。

我國當時之教育部長適爲今日華岡創辦人張其昀先生，他的慧眼矚目于地球物理研究所有創立之必要，即爲今日中大之復校開端，但真正實現尙有待于黃季陸部長。近又逢本省光復卅週年紀念，特囑我等草此小冊子，以爲慶祝云爾。

民國六十五年五月

編者等敬識

目 錄

卷頭語·····	頁數
前言·····	一
第一章 地球物理學·····	三
第二章 試舉地震法爲例，應用於地球模型·····	一一
第三章 臺灣之地震簡史·····	一九
第四章 臺灣之地球物理學教育·····	二三
第五章 臺灣之地球物理學研究·····	廿九
第六章 臺灣之地球物理探勘·····	四四
第七章 臺灣之地質與地球物理·····	五三

插圖說明

	頁數
圖一：代表性地震波的路徑。·····	一三
圖二：傳達時間曲線。·····	一四
圖三：震波速度 v_p 及 v_s 的分布為深度的函數。·····	一五
圖四：臺灣之構造帶（1·海岸山脉；2·中央山脉東帶；3·中央山脉西帶；4·臺灣西部帶）·····	五六
圖五：臺灣之布蓋重力異常圖（根據中國石油公司資料改算重力值；單位毫伽）·····	六〇
圖六：臺灣周圍海域磁力線分布圖（根據中國石油公司及臺灣大學海洋研究所資料編製；全強度，單位加瑪）·····	六二
圖七：臺灣地震之分布（民國六十二年一月至十二月） （根據中央研究院物理研究所地震組資料；三角地震站）·····	六三
圖八：臺灣地震之分布（包括琉球及菲律賓）（左圖：淺層地震；右圖交叉，中層地震；四角及三角，深層地震；根據徐明同論文）·····	六七
圖九：臺灣北部海域之炸震研究路線圖（根據Leyden等）·····	六九

地球物理學在台灣

前言

地球物理學在地球科學中，是屬於比較新的學問。以往地球的各种物理性質及現象，主要屬於物理學、地質學、氣象學、以及天文學等的科學研究；因其研究範圍逐漸發展至廣大領域，並研究深度也逐漸加深，最後成立為地球科學的一個獨立部門，其歷史僅有數十年而已。狹義的地球物理學是應用物理學與地質學兩學科去研究的學問。有某權威學者的意見、兩者內容與方法，在地球物理所用的為三與一之比。

在台灣地球物理學的研究，可以說：大約在八十年前就開始了，當時研究的對象是地球物理學之一重要部門的地震；其研究工作由台灣測候所（現在屬於中央氣象局）附帶主持，利用設置在台灣各地測候所的地震儀測勘並記錄地震資料。又大約四十年前，日本京都帝國大學曾組隊來台灣測勘重力，設立十三處重力站、進行測定、並發表其結果，即得台灣之布蓋重力異常圖。

至台灣光復以後，地球物理測勘工作，初皆由中國石油公司台灣油礦探勘處執行，其目的是在應用方面，即探查油氣礦床。現有的台灣之地球物理基本資料如重力分布、地層之震速、電氣性、及放射性

、磁力分布等，大多數都由中國石油公司之實地勘測而獲得的。

於民國五十一年國立中央大學在臺灣復校，先設立地球物理研究所在苗栗。這是在吾國以地球物理學為獨立部門實施教育之開端。其後於民國五十七年國立台灣大學設立海洋研究所，其中有一部門是研究及教育海洋地質學及海洋物理學。又於民國六十二年中央研究院物理研究所附設地震組（原來之地震研究專案小組，名義上屬於行政院國家科學委員會，民國六十年開始成立。不久之後，却改名為中央研究院地球科學研究所），專門研究台灣區陸海上之地震。現在可以說台灣之地球物理學的教育與研究工作，大致上已受重視，人才多由中大研究所養成，需要經常推動其觀察工作，而絲毫不能剪斷，並使之發展而已。

在本文中筆者等擬將台灣之地球物理學教育、研究、及其應用三方面作一個概略性的介紹。將本文分為地球物理學、地震法之實施、台灣地震簡史、台灣之地球物理學教育、台灣之地球物理學研究、台灣之地球物理探勘、及台灣之地質與地球物理等七項記述。

本文之撰寫承蒙許多朋友的協助，特別是中央研究院物理研究所地震組蔡義本先生、台灣大學海洋研究所陳汝勤先生、工業技術院礦業研究所梁敬豪先生等，在此表示十二分的謝意。因撰寫時間匆促，疎漏，錯誤之處在所難免，敬請斯界先進不吝指正。

第一章 地球物理學

地球物理學是研究地球本體之物理性質（靜態研究）與其活動機構及過程（動態研究）之一種學問。因其研究之發展進步和研究領域之擴大相當迅速，故與其他有關科學發生了密切的關係，有時難於區別各部門的範圍。廣義的地球物理學，不但以地球本體為研究對象，又以其上層的大氣，與更上層的高空和太空等之種種物理性質，為研究目標，即陸、海、空三界皆包括在內。為便于實踐，單就狹義的地球物理學而言，雖限於以地球本體之物理性質及現象為主，但其對象包括佔全地球表面三分之二之海洋海水在內。所以狹義的地球物理學可以再細分為研究地球固體部份和研究海洋海水兩種。在本文中將記述的地球物理學，是指前者而言，即以地球固體部分為其研究對象的。

在許多科學部門中，與地球物理學有關者為數不少，其中較密切者，有如左列部門：

物理學（理論物理學、近代物理學、連續體力學、電磁流體力學、固態物理學、電漿物理學、熱學等）
地質學（礦物學、岩石學、地層學、地質構造學、礦床學等）。
數學（應用數學、統計學、複變數函數論、偏微分方程、張量分析等）。
化學（分析化學、地球化學等）。地形學（陸上地形、海底地形等）。海洋學（物理海洋學等）。生物學（古生物學等）。氣象學、天文學。

從學術上的見地而言，地球物理學的主要研究對象或項目可以分列如左：

一、地球

(一一一) 地球之起源(星雲說、衝突潮汐說、亂流說等)。

(一一二) 地球之形狀、大小、及質量(球狀之地球、地球橢圓體、地球球體(Geoid)、重力與地球之形狀、鉛直線偏倚、人工衛星與地球形狀、回轉平衡體與地球)。

二、地球之內部構造

(二一一) 地球內部之情形(詳見第二章圖三及表二)。

(二一二) 利用地震彈性波的傳播、及地球內部構造的地震解釋(天然地震、人工地震、表面波等)。

(二一三) 利用重力研究地球內部。

(二一四) 地殼之構造、「地殼均衡說(Isostasy)與地殼之概念、海洋之地殼、由表面波看陸與海地殼之構造」。

(二一五) Mohorovicic (簡稱Moho) 模霍不連續面——可塑性層。

(二一六) 地套(上部地套、深部地套)

(二一七) 核心(外核心及內核心)。

三、地球之力學性質

(三一—一) 地球內部之彈性常數分布(指地層的物質密度、剛性係數及楊氏係數等)。

(三一二) 海水潮汐的漲落。

(三一三) 地球之自由振動，猶如一大型陀螺的轉動。

(三一四) 地球之非彈性性質（陸地之隆起與陷落、地球之自由章動、黏滯性與彈性考察、地球現在形狀與自轉速度、地震波衰變與地球振動衰變等。）

四、地球之電磁性質

(四一一) 地磁及其變化（地球磁場之分布、地球磁場之異常、地球磁場之永年變化、古地磁。）

(四一二) 地磁之原因（古典的各種學說、Dynamo 理論、永年變化之理論）

(四一三) 地球內部之電氣性質（地套之電氣性質、地磁變化異常，與地套電氣傳導度異常，地套內之電氣傳導，地套內之相變化與電氣傳導，核心之電氣性質。）

五、地球之熱性質

(五一一) 地殼熱流量（地溫梯度與地殼熱流量、陸地地殼之熱流量、海洋地殼之熱流量、地球內部之發熱源。）

(五一二) 地球內部之溫度（溫度分布之推定、熱傳導度與其分布。）

六、地球之歷史

(六一一) 地球之年齡（岩石之年代測定、地質年代、不一致年代之意義、地球之年齡）。依據最近 Bullen 氏的估計，地球年齡約為四十五億年。（在國際地球物理年會大會上宣布的）。

(六—二) 地球之歷史 (地球誕生期、熱的歷史、大陸之成長、大陸移動。)

七、造山運動

(七—一) 造山作用 (造山帶、現在之造山帶、地震之地學、海洋底運動。)

(七—二) 造山運動之機構 (時間、模型實驗、收縮說、膨脹說、對流說。)

八、全地球構造說 (板體構造說)

地球物理研究，可以分爲理論與實測兩方面。理論方面是主要使用物理學及數學等的方法，去研究地球物理性質及現象；而實測方面是使用各種地球物理儀器，來做實地測勘，有時對其結果，參照地質學的解釋，而加以改進。根據地球物理學理論及實測結果，設計或改良地球物理儀器，也是一個重要的研究工作。

又地球物理研究可以再分爲學術與應用兩方面。學術方面包括理論研究、實地測勘研究及其結果的地質對照，由理論研究來設計儀器類等。應用方面是專門做實地測勘，由其結果推定有用礦床之存在與否、規模大小、胚胎深度等，面對地下資源之開發，提供初步的原始消息；這就是所謂地球物理探查 (探勘、探查；有時簡稱爲物理探查)。及地球物理探查，可應用到土木工程的土質岩盤調查；近年來隨大規模土木工程之增加如鐵路、公路、港灣、水壩、特殊建築 (如原子核發電廠、核彈貯蓄庫、防原子彈用的山洞地下室) 等工程，必須先做精密的岩盤調查。普通地質調查僅能做地表及接近地表部分，至於較深部分，就無法做詳細調查，爲補救這一缺點，一般在初步調查時，利用地球物理方法測勘，然後

選定地點，再做進一步的調查工作，如鑽井或挖坑道等。

地球物理學之研究方法，其種類為數不少，其中比較普遍被採用者，有六種方法：重力法、磁力法、地震法（震測法）、地電法、地熱法、及放射性法等。重力法、磁力法、地熱法、及放射性法是主要測定地殼（及地套上部）岩石中之原始性質；而地震法是根據人工地震所造成的、或天然地震發生時，所放出來的能量的效果來研究。地電法是測定天然地電流或人工電流之效果。

(1) 重力法

引力是地球向其中心吸引物體的力量，由地球引力所造成的加速度、普通用重力加速度表示。在海面其數值大致是九八〇伽（ 981 ）（註：伽為重力加速度單位，等於一每秒每秒厘米），在赤道是九七八·〇四九伽，在極點是九八三·二二一伽，一般有緯度 ϕ 的地點，可以用國際重力加速度公式來計算

$$g = 978.049 (1 + 0.0052884 \sin^2 \phi - 0.0000059 \sin^2 2\phi) \text{ 伽} \quad (1930 \text{ 年})$$

[註：Reference ellipsoid, 1967 之公式為

$$g = 978.0318 (1 + 0.005302 \sin^2 \phi - 0.0000058 \sin^2 2\phi) \text{ 伽}]$$

g 表示在該地點海面的重力加速度， ϕ 是緯度。如果地球是理想的均質體，就可以由其緯度算出其作用單位質量的重力值（理論值）；但地球實際上是異質體及異方體，所以各地的重力值與理論值頗有差異。重力法是利用其差異來研究地球地殼（及地套上部）的異質性。

重力法有用擺法 (Pendulum method)、重力儀法 (Gravimeter method)、扭秤法 (Torsion balance method) 等。用擺法是利用擺的擺動測定重力。重力儀有各種型式如 North American type, Worden type, Lacoste type, Askania type 等。其優點是在短時間內可以測定與標準基點重力的相對重力值。在海面上、海中或空中也可以用重力儀測定重力。用擺法及重力儀所測定的重力值、必須加以修正；其修正方法有自由空間修正、布蓋修正、地形修正、均衡修正等。重力異常值是理論值與實測值經過自由空間、布蓋、地形修正後的重力值之相差。扭秤法是測定重力梯度及等位面的曲率。

(2) 磁力法

磁力法是測定岩石或岩體中的磁性；岩石磁性主要由岩石中之帶磁礦物所產生的。磁力法除陸上外，可以在飛機上或船上使用，是測定磁力之強度。其儀器有許多種如 Dip needles, Hotchkiss super-dip, Schmidt balance, Flux-gate magnetometer, Proton magnetometer, Rubidium magnetometer, Cesium magnetometer, Metastable helium magnetometer, Nuclear magnetometers, Airborne magnetometer 等。磁力測定值必須加以修正；修正方法有溫度修正、日變化修正、磁暴、及地球磁場之長期變化等。

利用新設計之測磁方法，自一九五〇年開始，測定岩石之古地磁；古地磁測定法，是利用在岩石中被保存的過去磁力，來測定岩石生成時之磁力方向，及強度等，並可以推測古磁場分布的情形。

(3) 地震法

地震法是地球物理方法中之最重要及最有力量的方法；現在都被各國非常廣泛所採用的，所以記載其原理及方法等之書籍或論文為數固多，將在第二章特別敘述之。

地震法有天然地震法及人工地震法（所謂震測法）兩種，其方法是測定通過地下岩層之彈性波的速度。前法可以研究天然地震的各種性質；後者主要應用在探礦勘查方面如油氣礦床、金屬非金屬礦床等的探查及土木工程岩體的調查；也可以用在地球殼及地殼構造等的學術研究。人工地震法可以再分為折射測法及反射測法兩種，各方法均有其優點，由研究調查地區之地質情形，選其一法實施之，或兩法并用。現在對天然地震，利用震源機構的方法，研究地震發生機構如滑動面及應力分布等，頗為通用。

(4) 地電法、地電阻測定儀

地電法在測勘技術上，或所測的電氣性質上，有許多的種類：如自然電位法、電阻法、電磁法、誘導分極法、直流法、電位法等；即有的是利用天然地電流，有的是利用人工通電的。一般言之，地電法對淺處的岩層比較有效，通常有效深度在五百公尺以內，所以對淺處的礦床、檢層、或地下水勘查時，常被採用。最近由新測法之開發，地電阻測定儀可以應用於地下深度一千公尺左右。

(5) 地熱流法

地熱流法一般是從地下深處，如自地殼向上流來的，而有一部分是從地殼流出來的；雖然有各種來源，但經由研究，可以推定地下岩體之大小及形狀等。

地熱流法一般是先鑽井，或利用已有的井（井深至少三百公尺以上），先採取井內各深度的岩石標本，測定其熱傳導度等性質；鑽井後井內溫度達到平衡時，開始測定井內各層深度的溫度，由此可以推算井內的溫度梯度。再由溫度梯度與井內岩石的熱傳導度，可求出熱流量。

(6) 放射性法

利用岩石中的放射性礦物所放出的 α 、 β 、 γ 等放射線，測出岩石放射之強度。放射性法之儀器有蓋氏探測計及閃光探測計（兩者主要是測定 γ 射線及 β 射線）；又可使用空中閃光探測計，在飛機上測勘地上岩石的放射性。又井內檢層時，也可使用放射性法。

上述各方法的儀器均為研究地球構成物質的物理性而設計的；即以地球構成物質之密度（見第二章）、磁性、彈性、帶電性、熱性、放射性等為主要的研究對象。根據實測值以解釋地質時，特別是探查礦床時，僅使用一種方法，常不易得到直接的解答，有時必須使用第二種，或更多種的方法，才能達到其目的。其原因是地球物理方法，大多數不能簡單測出物理性本身，而只能測出由物理性質造成的效果或影響而已。又地球構成物質之大部分，呈異質性或異方性，也是其原因之一。不管使用任何地球物理方法，其測定值常含有目的性質以外之因素影響，所以若無法除去目的性質以外的因素，就不易獲得該性質的真象；換句話說，其測定值的修正，在地球物理方法上，佔有重要工作之一部分。