

苏联高等学校教学用书

大地物理学

B. A. 馬格尼茨基著

地质出版社

大地物理学

В. А. 馬格尼茨基 著

周 夢 鑾 譯

苏联文化部高等教育總局審定作爲
高等学校天文測量專業教學用書

地質出版社

1956·北京

В. А. МАГНИЦКИЙ
ОСНОВЫ
ФИЗИКИ ЗЕМЛИ
ГЕОДЕЗИЗДАТ
МОСКВА, 1953

本書敘述的是近代關於地球內部構造和地球內部物質的種種物理性質的概念，以及其中進行着的一些基本過程的特徵。其說明是在根據近代物理學的基本成就解釋地震學、地溫學、地球形狀論、重力學等的一些基本資料的基礎上來進行的，同時也介紹了與這些問題有關的密介質力學、物質運動論和近代的固體學說等的一些必要的輔助的知識。

本書可作高等學校地球物理學教本，也可供研究地球物理與從事探礦的工作者參考。

本書由東北地質學院地球物理探礦系周夢寧譯，陳培光校。

大地物理学

342,000字

著者	В. А. 馬格尼茨基
譯者	周夢寧
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零伍零號
發行者	新華書店
印刷者	地質印刷廠 北京廣安門內教子胡同甲32號

編輯：陳培光 技術編輯：李璧如、張華元
校對：吳學華

印數(京)1-8,700冊 一九五六年七月北京第一版
定價(10)2.30元 一九五六年七月第一次印刷
開本31"×43" $\frac{1}{16}$ 印張16 $\frac{1}{2}$ 插頁3

目 錄

原 序.....	7
§ 1. 緒論.....	9

第一章 地球的年齡与溫度

§ 2. 地球年齡的問題對於大地物理学的意義.....	14
§ 3. 放射性轉變的基本定律.....	15
§ 4. 地質年表之絕對的与相對的時標.....	17
§ 5. 主要的熱源.....	21
§ 6. 熱傳導方程式.....	23
§ 7. 太陽輻射對於地球溫度的影响.....	28
§ 8. 根據地溫观测資料所得的地球溫度.....	32
§ 9. 作為地球深处溫度指標的地球岩漿活動.....	39
§ 10. 地球冷却的假說.....	50
§ 11. 放射性轉變在地球溫度狀況中的作用.....	53
§ 12. 關於地球內極深处溫度的一些見解.....	63

第二章 地球的形狀

§ 13. 引言.....	69
§ 14. 牛頓引力、離心力和重力的勢.....	70
§ 15. 均勻球狀層和由均勻同心層組成的球體的勢.....	76
§ 16. 恒勢面.....	80
§ 17. 重力勢按照球函數展成級數.....	82
§ 18. 大地水準面，標準橢球，標準橢球面上的重力.....	86
§ 19. 大地橢球的一些基本參量.....	91
§ 20. 不均勻轉動液塊的平衡形狀.....	94
§ 21. 地球的形狀和不均勻轉動液体的平衡形狀的對比.....	105

第三章 地震現象

§ 22. 地震的基本定義与分類.....	112
-----------------------	-----

§23. 地震的地理分布与頻率	115
§24. 地震与別种現象的關係；關於地球構造的結論	119

第四章 彈性理論要點

§25. 理論的基本前提和它在地震学中的应用	126
§26. 微小形變的理論	127
§27. 脅強勢態的分析	135
§28. 脅強和形變間的關係	142
§29. 平衡和運動的方程式	148
§30. 彈性波	153
§31. 波包 波羣速度	162
§32. 表面橫波	165

第五章 奠基在地震資料上的地球構造

§33. 根據觀測表面波的傳播所得的資料推得的地球外殼的構造	169
§34. 鄰近地震，不同型式的地震波和它們的時距曲綫	173
§35. 鄰近地震和人工爆炸；地球外殼的構造	181
§36. 研究地球深下部分之構造的地震学方法的基礎	190
§37. 从地震資料方面看出來的地球深部的構造	197

第六章 地球的密度和彈性恒量

§38. 地球物質的密度隨深度而變化的規律所必須滿足的條件	205
§39. 關於地球物質的密度隨深度變化的規律之基本的假設	208
§40. 地球內部的压强和重力	221
§41. 地球的彈性恒量	222

第七章 地球外殼的構造和它的運動

§42. 地球外殼的成分	227
§43. 地球外殼在地貌学和構造地質学上的劃分	230
§44. 地槽區域	236
§45. 地台區域	247

§46. 海底區域	252
§47. 現代的地球外殼的運動	255
§48. 地球外殼的一般的發展方案	260

第八章 重力場和地球的構造

§49. 重力的異常	267
§50. 重力異常在大地物理学方面的意義	273
§51. 地球外殼中一些基本構造單位的重力場的特徵	279
§52. 重力異常和深層地質構造作用的性質	284
§53. 以重力資料為根據的地球外殼的構造，均衡說	289

第九章 根據現代物理学的資料來看關於 地球構造的一些基本結論的解釋

§54. 對於应用物理学的理論來解釋關於地球構造的資料的若干一般 的意見	299
§55. 彈性黏滯體理論的實驗前提	303
§56. 彈性黏滯體的弛豫理論以及它在大地物理学問題上的应用	307
§57. 固体和液体的構造，所得的一些結果在大地物理学方面的应用	320
§58. 原子構造論中的若干問題	333
§59. 固体的能量	345
§60. 地球深部的物理学	356
附錄 1. 球函數論的一些基本關係式	380
附錄 2. 元質點的定居週期	384
附錄 3. 論地球內殼中的对流	387
附錄 4. 論地球外殼在水平力作用下的形變	390
附錄 5. 天然放射性	394
参考文献	398

原 序

这本著作是以著者多年來在莫斯科國立羅蒙諾索夫大學以及在莫斯科大地測量、航空攝影測量和製圖工程師學院所講授的“大地物理學”教程為基礎而產生出來的。在講授這教程時，著者曾遭遇極大的困難，就是差不多完全沒有站在我們現代的學術水平之上的，能夠推薦給幾種性質相近的專業的大學生、研究生、開始從事科學工作的人、地質和測量工程師、希望熟識現代的大地物理學的人們的文獻。這一情況就迫使著者不得不來編撰一本即使僅僅能使上列各類讀者的需要得到最初步的滿足的教材了。

在幾乎完全缺乏適當的文獻的時候來編寫一本能嚴格地適應任何一類的專業的需要的教材，那是沒有意義的。著者認為必須敘述的只是對上述各類讀者有意義的一些起碼的問題。

在編寫這一教程的時候，著者曾力圖不採用繁重的數學計算，也不想應用為這一教程的一些基本學員所未曾研習過的那些數學部門，來從事闡述。同時著者又努力使書中的敘述接近於一些與所研究的種種問題有關的學術的現勢。這些見解有時候就迫使著者不得不放棄若干結論的嚴格性，只採用若干問題的一種簡化了的、近似的，但是對於所得到的一些結果沒有重大損害的解釋。對待若干物理理論的要點的敘述，尤屬如此（第四章和第九章）；這些理論，要是沒有它們是不可能指示出來關於大地物理學的一些基本問題的現勢的，然而又往往為學生們——這一教程的學員們所不熟知。把這些問題包含在內，自然就會使這一教程的本來已經相當大的龐大性和複雜性更為擴大，不過另外的出路，著者可也看不出來啊。

著者自認，所提出來的這一教程，無論在結構的安排方面，也無

論在教程的內容方面，都包含有一些缺點。特別是，在這教程中，有許多可以爭論的原理，許多的假設性的東西，但是要省略了這些問題，而想逗留在現今的學術水平之上，那是不可能的。著者只有到處都努力指明這一個或者那一個原理的可爭論性，假定性，以便在讀者方面不致於造成一種不正確的印象。既然這一教程的對象是具有足夠的素養的讀者（最低限度是在高等學校三四年級的範圍之內），所以這樣的進程對於著者不僅是可以容許的，而且也是必須的；況且也只有通過這樣的一條路線才可能把讀者引導到擺在大地物理學面前的一些現代尚未解決的問題的範圍中去。

著者要對蘇聯科學院地球物理研究所許多部門的全体同人表示深深的感謝，他們在相應的課堂討論會上，在預先商討本書許多章節的過程中，給著者以很大的幫助。著者也要對施密特（О.Ю. Шмидт），莫洛敦斯基（М. С. Молоденский），達維多夫（В. И. Давыдов），別洛烏索夫（В.В. Белоусов），邦契科夫斯基（В.Ф. Бончковский），薩瓦連斯基（Е.Ф. Саваренский），戈爾什科夫（Г.П. Горшков），菲迪恩斯基（В.В. Федынский），克羅波特金（П.Н. Кропоткин），柳斯齊赫（Е.Н. Люстих），列文（В.Ю. Левин），帕里依斯基（Н. Н. Парийский），格佐夫斯基（М.В. Гзовский）和柳比莫娃（Е. А. Любимова）表示特別的感謝，由於他們的許多的寶貴的啓示和材料的供給。

§ 1. 緒 論

大地物理学^①作為一門獨立的學科，在現今是還處在形成的過程中；它所研究的問題的範圍還沒有完全確定。看起來對像是在大地物理學中天然地要把關於地球所有各圈，連大氣圈和水圈都算在內的物理學的研究都包括在內。不過，大氣物理學和水圈物理學已多半分出成為獨立的學科了。在現時又還有一種意見，就是說，在大地物理學所研究的問題的範圍中，應該只包含與地球的固體部分有關的問題，有時候被提出來的“岩石圈物理學”這一名詞好像也不完全恰當，因為把“岩石圈”這個名詞應用到地球的這些部分，例如地核時，是會引起疑問的。

以後我們將把大地物理學理解為理論地球物理學的一部分，它從事研究固態的地球整個的以及它的一些巨大部分的材料之物理狀態和物理性質，同樣也討論在地球內部進行的以及決定了我們這行星現今的構造的各种物理的與物理化學的過程。

大地物理學研究物質在一些與通常的物理實驗情況極不相同的條件下的一些過程與狀態。因此，大地物理學中所應用的一些基本方法也就是理論物理學的一些方法。但從所說的一切絕不應該推論，大地物理學並不依靠實驗和實踐的資料。反之，大地物理學，也和全部的理論物理學一樣，完全依賴實踐和實驗的資料。大地物理學把地球物理學這些部分所獲得的資料總結起來，並給它以一般的解釋。然而正是在總結的問題中，理論的作用變得特別巨大。作為大地物理學的特徵的，那樣大的理論的比重，原因也就在此。但是大地物理學也不光是利用實踐和實驗的資料，它本身也幫忙解決了許多實際的問題。它對

① Физика Земли——這一名詞和“Геофизика”一般都譯為“地球物理學”，並不加以區別。但據本書所述，兩者的涵義實不相同，前者應包括在後者之內。在蘇聯科學院彙報；地球物理學叢刊（Известия Академии Наук СССР: Серия Геофизическая）中，Физика Земли也只是其中的一大項目，與此併列的還有“Физика моря”（大洋物理學）和“Физика Атмосферы”（大氣物理學）等，有鑒于此，故暫將“Физика Земли”譯為“大地物理學”以別於譯為“地球物理學”的“Геофизика”——譯者。

這樣的一些問題是有關的：地震的預測，地震區的劃分，地殼運動的研究，與普查礦產有關的一些問題，等等。

大地物理學所研究的問題早已就引起了研究家的注意。要是不停留在古代和在中世紀佔居優勢的，關於地球的構造和發展的一些荒誕無稽的觀點上面，我們就會發現，關於這個問題的最有意味的思想是在十五和十六世紀之交，由列奧納多·達·芬奇（Леонардо да Винчи）表露出來的。特別是他提出了和均衡說的假設類似的假設。關於地球的形狀就好像轉動中的液體的平衡形狀的問題，是首先由牛頓來研究的，但是在克來羅（Клеро）關於這一困難問題的著作以後，直到二十世紀開始時，著名的俄羅斯數學家略布諾夫（А.М.Ляпунов）的有名的研究為止，這中間是做得非常之少的。

在十八世紀，偉大的俄羅斯學者羅蒙諾索夫打下了地質學的科學基礎，並且提出了對於解決地球的發展以及作用在地球內部的力，尤其是地震的性質這些問題的驚人地深刻的見解。在十九世紀開頭，愛利·德·包孟（Эли де Бомон）從康德-拉普拉斯的宇宙假說出發，提出了關於地球逐漸的冷卻和收縮的假設，這假設，儘管它對於地球發展史中的一些主要關鍵問題的解釋是如何顯明的無力，而直到我們這時代，也仍然沒有被一些外國學者所放棄哩。這種收縮說和實際的地球溫度狀況完全不相符合，就像開耳芬（Кельвин）所揭露的一樣，不過，開耳芬對於地球溫度的問題也未能給以正確的解決。在這一問題方面，具有決定性的一步，是在發現了放射性現象以後，才作出來的。假如撇開焦耳（Джоль）的假設那一類荒誕的推測不談，那末，第一次關於放射性的熱在地球溫度狀況上的影響之認真的研究，是由赫洛平（В.Г.Хлопин）做出來的。齊霍諾夫（А.Н.Тихоноз）又研究了這問題的數學方面。維爾納德斯基（В.И.Вернадский）對這一問題也發表過一些深刻的見解。

關於地球內部的構造，關於密度隨深度而變化的問題，列然德爾（Лежандр）早就研究過，他給了應份的注意，企圖來解決這一問題。

在解决这一個地球物理学的問題方面，後來的一些重大的成就，是只有在科学的地震学的方法製定了以後，才有了可能。这一門科学的奠基者就是著名的俄羅斯地球物理学家兼物理学家戈利新（Б.Б.Голицын）。他也首先提供了一個關於地球內部構造的、在科学上有根據的方案。

根據地震学的資料，布倫（Буллен）就進行計算过地球內部的密度和一些彈性恒量的變化。苏維埃的学者莫洛登斯基（М.С.Молоденский）又吸收了許多別的資料，对這一問題，提供过最圓滿的解决。關於地球內部構造的問題之最引人注意的結果，是在維爾納德斯基，費爾斯曼（А.Е.Ферсман）以及一些別的苏維埃地球化学家的研究中得到的。

在現時，大地物理学已經接近了這樣的一個發展階段，在這個階段上已經提出了如何根據近代物理学的一些資料，來對於种种地球物理学的研究所收集到的材料作出卓越的總結並予以解釋的問題。这一個總結應該能導致關於地球內部的構造和种种變化过程的一般性的物理学的和物理化学的理論的製定。而根據這樣的理論也就似乎可能把地球在它的歷史上的前地質階段，乃至於地質階段中發展的理论擬定出來。

擺列在大地物理学前面的那些卓越的、帶有原則性的總結，自然是只有運用科学，根據以先進的方法武裝起來的先進的理論才能作出來的。而這些條件也只有以辯證唯物主義的方法武裝起來的苏維埃地球物理的科学才能予以滿足。

外國的地球物理学對於解决同類的問題來說，在大多數的情況中，總是沒有什麼幫助的。外國的地球物理学的危机，只要我們綜觀过去十年來的一些企圖作這樣的總結的著作，就会很明顯地看出來。這一類的著作，其中大多數總是折衷主義的，由地質学和地球物理学各個不同部門彙集起來的一些資料与假設的混合体，缺乏任何主導的思想。所引用的一些假設与資料往往彼此互相矛盾，那正是在這樣的一些著

作中佔居優勢的那種單純的經驗主義之不可避免的結果。在一些外國學者的著作中也有成功地解決了這一個或者那一個個別的具體的地球物理學的問題，特別是在實驗方面的一些例子，但是在總結方面，外國的地球物理學照例總當上了原始的機械論的一些觀點的俘虜。

大地物理學不僅跟地球物理學的其他部分，其資料要為它所應用和概括的，密切地關聯着，而且也跟地質學密切地關聯着，對於地質學，它和地球化學一起，應該提供一些物理—化學的基礎，以便製定關於地球的地質發展而為地質實踐所依據的一些正確的概念。最後，應該指出大地物理學和天體演化學的密切的關係，它从天體演化學中獲得了關於地球原始狀態的資料，而它本身關於地球構造與發展的規律性的知識又有助於天體演化學的一些問題的順利的解決。和先進的、由施密特(О.Ю.Шмидт)、費森科夫(В.Г.Фесенков)和許多別的研究家的努力創作出來的蘇維埃的天體演化學的親密合作，更造成了蘇聯的大地物理學的相當大的優越性。在外國，它在最好的情況中，也只是可能從一些過了時的天體演化學的假設出發，或者就墮落到成為種種唯心主義的概念的俘虜。大地物理學又和大地測量學，和地球形狀論(Теория фигуры Земли)密切地聯繫着，它要應用它們的一些資料，而在它這方面，它又有助於擺在這些科學面前的一些基本問題的解決。至於大地物理學跟物理學以及跟物理化學的關係，那就用不着說了，因為它就是從利用這些科學來解決地球構造的一些基本問題的結果中，發生起來的。

著者認為本教程的編排最好是這樣，就是在其中幾章內敘述由地質學和地球物理學各部門所獲得的、關於地球構造和在地球中進行着的一些過程的基本的資料。在這幾章內也還對於所引証的資料給以物理的解釋。解釋的範圍以在地球物理學的相應部門的一些材料的基礎上有可能解釋的為限。有一些數學性質的次要的問題，還有一些只有個別的意義或者在本書基本計劃以外的地球物理學的假設也一樣，著者認為都可以放在書末的附錄中。而在最後的一章中，則根據近代的

物理学的理論，對於以前各章中所闡述的資料，予以總結，並且企圖在這一基礎上，極其概略地擬定一條可能把地球發展的假設建立起來的路綫。自然，在當代的學術水平之下，在對於地球物理学一些基本資料的物理解釋所作的嘗試中，不可避免地會含有非常之多的值得爭論的和假設性質的東西。但是假如不創造一些適當的有助於工作的假說，那是不可能前進的。

“只要自然科學在思維着，它的發展形式就是假說。一件新的事實被觀察到了，它就使得過去用來說明和它同類的事實的方式不中用了。從這一瞬間起，就需要那種最初僅僅以有限數量的事實和觀察為基礎的新的說明方式了。更進一步的實驗材料便會洗清這些假說，取消一些，修正另一些，直到最後建立起一個純粹化的定律。如果我們要等待建立定律的材料純粹化起來，那末這就等於說在此以前要停止思想的研究工作，而定律也就永遠不會出現”。（恩格斯：自然辯證法，人民出版社 1955 年版，201 頁）。

第一章 地球的年齡與溫度

§ 2. 地球年齡的問題對於大地物理學的意義

地球的年齡和它的地質歷史各個階段的長度的問題，通常並不在大地物理學所研究的一些問題的範圍之內。但是地球的年齡，就像下面會見到的一樣，在解決大地物理學最重要的問題之一——我們這行星的溫度問題——的時候，就要參加在內，算做原始資料。我們的關於地球內部的物質狀況，以及關於那些造成地球現今的構造與引起地球外殼和殼下部分的運動和變形的種種物理過程和物理化學過程的可能特點的結論，就都視地球深處的溫度這問題的這一種或者那一種解決為轉移。此外，為了確定這些過程的速度，也必須知道地質歷史各個階段的長度，而這同樣的是和地球年齡的問題關聯着的。

在現今，已經有了足夠詳細的、很好地製定出來的、相對的地質年表；但是它對於整個大地物理學是很少有用的，因為在提供了地質歷史各個不同階段的次序的時候，它並沒有以任何確定的時間單位（例如，用年數）表出它們的長度。對於這點還應該加以補充，就是說，地球的前寒武紀的歷史這一個巨大的階段的全部是很不好用那相對的地質年表的時標^①來說明的。最後要指出，用相對的地質年表的方法來實現對於地質歷史中發生在彼此之間相隔極遠的各個區域中的一些事變的時代加以比擬，也是極其沒有把握的，還有，從歷史地質學的觀點看起來是同時發生的那些事變，往往毫無疑義地是在彼此之間相隔極遠的一些時刻過去的。所有這些情況都迫使人不得不去尋求一些方法，讓人可能把“絕對的”地質年表建立起來，而那才是可以根據用確定的種種單位——年，千年，等等表示出來的時標，把地質歷史中

① временная шкала

每一個事變的日期確定下來。

確定絕對的地球年齡和建立絕對的地質年表的實際的可能性，只有在二十世紀開頭，在發現了有些元素的原子之天然的放射性的轉變的現象以後，方才呈現。爲了考慮到放射性轉變的現象不僅對於地球年齡的確定提供了可能性，而且在地球的溫度狀況中也起了重大的作用，特在附錄 5 中介紹了一些關於天然的放射性轉變的知識。

§ 3. 放射性轉變的基本定律

在現今已由實驗確定並經理論上證明，就是放射性轉變所經的過程與外來的影響（壓強、溫度等等），在這些外在的因素之極其廣闊的變化範圍下，都毫無關係。這一過程也無關於放射性元素的濃度。放射性的蛻變正是某一元素的原子核本身的一種特性，因而只和它的內部狀況有關。

在這些條件下，自然不妨假定，在由 t 到 $t + dt$ 的時間間隔中蛻變了的原子的數目 dN 與時間間隔 dt 以及在時刻 t 還未蛻變的原子的數目 N 成比例。因此可以寫出

$$-dN = \lambda N dt, \quad (1.1)$$

這裏的 λ 是一個比例係數。

在時間由 $t=0$ 到 t 之中，來積分 (1.1)，得

$$\ln N - \ln N_0 = -\lambda t \quad (1.2)$$

或

$$N = N_0 e^{-\lambda t}. \quad (1.3)$$

在 (1.2) 中用 N_0 表示那蛻變着的元素在開始時刻，也就是說，從那時起就進行計時的那個時刻的原子的數目。定律 (1.3) 也已由實驗方面予以証實。那個恒量 λ 叫做蛻變恒量^①，具有爲時間倒數的量綱^②；每一種放射性元素都有自己的蛻變恒量。（在推導 (1.3)

① константа распада ② размерности

時曾假定蛻變着的元素都是原始的，也就是說，它的原子在被觀察的時間中沒有新誕生的）。

在許多的場合中，要表明蛻變的速度，比較適宜的辦法，不是用恒量 λ ，而是用半衰期 T' ，要了解這就是一個時間間隔，在此期間中蛻變了在開始時刻原有的原子整個的一半。要求得 T' ，可在 (1.2) 中令

$$N = \frac{1}{2} N_0 \quad \text{及} \quad t = T',$$

於是

$$T' = \frac{\ln 2}{\lambda} = \frac{0.693}{\lambda}. \quad (1.4)$$

用附錄 (2) 中所說的方法，就可能得到放射性元素的原子的平均壽命 τ ；很容易看出來

$$\tau = \frac{1}{\lambda}. \quad (1.5)$$

在表 1 中列入了幾個最重要的放射性元素的 λ 和 T' 。

表 1

元 素	λ	T'
${}_{92}\text{U}^{238}$	$1.54 \cdot 10^{-10} \text{ [年]}^{-1}$	$45.1 \cdot 10^8 \text{ [年]}$
${}_{92}\text{U}^{235}$	$9.72 \cdot 10^{-10} \text{ "}$	$7.1 \cdot 10^8 \text{ "}$
${}_{90}\text{Th}^{232}$	$0.50 \cdot 10^{-10} \text{ "}$	$138.6 \cdot 10^8 \text{ "}$
${}_{19}\text{K}^{40}$	$5.54 \cdot 10^{-10} \text{ "}$	$12.5 \cdot 10^8 \text{ "}$

假如我們已知 N_0 —— 某一放射性元素在開始時刻，也就是，那種在其成分中含有這一元素的礦物形成時的那一時刻的原子的數目，那末，再確定了 N —— 那同一元素直到我們今日還存留下來的原子的數目，就可以根據 (1.3) 定出那礦物的年齡，因為只有時間 t 是唯一不知道的。可惜的是 N_0 也不知道，但是還是可能確定除了 N 以外的蛻變產品的原子的數目 $\overline{N}$ ，而這就有了可能，來得到一個對於確定年齡 t 有用的公式。

因為 $\overline{N} = N_0 - N$ ，於是由 (1.3) 就易於推得