

最新世界名著

構造地質學

〔上 冊〕

施賓塞 原著

王乃鼎 譯

國家科學委員會補助

國立編譯館出版
臺灣書店印行

最新世界名著

地 質 構 造 學

(上 冊)

(INTRODUCTION TO THE
STRUCTURE OF THE EARTH)

施 賓 塞 原著
(EDGAR W. SPENCER)
王 乃 鼎 譯

國家科學委員會補助

國立編譯館出版
臺灣書店印行

中華民國六十二年一月初版

最新世界名著 **構造地質學**

版權所有：翻印必究

定價：新臺幣壹佰參拾貳元正

原 著 者	施	賓	塞
譯 者	王	乃	鼎
譯權所有人	國	立	編 譯 館
補助機關	國	家	科 學 委 員 會
發 行 人	趙	雲	溪
發行印刷	臺	灣	書 店

臺北市重慶南路一段十四號
業務部電話 3 1 3 8 7 5 號
門市部電話 3 7 8 1 2 0 號
郵政劃撥 7 8 2 1 號

序 言

本書乃爲初步構造地質學課程而作，其重點在基本原理之介紹。對區域構造地質，海洋盆地構造，地球之內部及構造活動（tectonics）亦有簡短之討論，以擴大學生之觀念，俾對其重要性，其應用，乃構造原理與其他地球科學之關係有所認識。

讀此書者應熟悉物理及歷史地質學之原理，並對代數及平面幾何具備夠用之知識。每一題目皆由基本觀念發展而成，在其包含數學觀念時，尤已特加注意。

本書對構造地質學各方面——原理，區域構造，及構造活動——均已包羅無遺，在材料之選擇及處理上儘可能達一相當深度。構造分析之技術在附錄中有扼要敘述，並包括一組習題以說明此等方法之應用。

得成爲許多卓越構造地質學者之學生、同事及友人，乃本人之榮幸，對這些友人給予本人之幫助及鼓勵深致謝意。特別感謝本人以前的教師華特·布琪（Wolter Bucher），艾利·波德瓦（Arie Pol-dervaart），馬歇爾·凱（Marshall Kay），及馬塞勒斯·史投（Marcellus Stow），彼等激起作者對構造地質學上各種問題之興趣，並感謝阿諾德·賴利（Arnold Lillie）及華倫·卡萊雷（S. Warren Carey），作者最近與之共同研究者。

本人願爲許多文字、照片、插圖在編寫本書時准許引用而致謝。各插圖已在其說明中指出來源，研究材料之來源，則在所附參考文獻項目中題出。特別要題出感謝者爲布魯貝克太太（Mrs. Stuart Brewbaker）對本書稿本之認真協助。

艾格·施賓塞（Edgar W. Spencer）

譯 者 序

本書係根據施賓塞教授 (Prof. Edgar W. Spencer) 原著 Introduction to the Structure of the Earth 翻譯。本書之特點爲材料新穎，內容廣泛。全書分爲上下兩編，上編介紹構造地質學之原理，下編介紹區域地質及構造活動。本書爲上編之譯本，爲應讀者需要，先行付印出書。下編譯就後另行出版。

本書之翻譯承蒙國立台灣大學地質系前主任阮維周博士之支持與鼓勵，並對譯文詳加校閱，諸多匡正，謹深致謝意。

構造地質學類西書向缺中文譯本，其中許多名詞均係新譯，譯文錯誤遺漏之處在所難免，尙祈學者不吝指正。

王 乃 鼎

目 錄

序 言

第一章 緒 論·····	1
--------------	---

上 編 構造地質學原理

第二章 應力與應變觀念·····	15
第三章 岩石之失抗理論——裂理·····	51
第四章 斷 層·····	111
第五章 物質之習性·····	229
第六章 褶皺與褶皺作用·····	297
第七章 解理、柱結、棒體、扭折、及夾腸構造·····	409
第八章 原生沉積構造·····	439
第九章 未固結之沉積物及鹽層之構造·····	453

第一章 緒 論

構造地質學爲研究岩石結構（以別於其成份），其地理分佈及其成因之科學。構景（structural feature）係由岩石由沉積作用固化後經運動而生成。此一定義並不包括結構之大小，而通常在構景之規模大小上，變異甚爲可觀。超微（submicroscopic）結構之研究主要屬固態物理學之範圍。但此等結構之集合效果（aggregate effect）無疑影響岩石之變形。地質學者對微構之研究，歷時已久；岩組學之研究重心，主要在此方面。岩組學（petrofabrics）爲分析各組成岩石部份之科學——分析其碎塊、晶粒、粒度、外形、排列，在空間中之方位，相互間之關係，內部構造，與各種形成此結構之運動及作用。

大多數地質學者所着眼之構景，小自露頭（半微性，microscopic），大至具區域性，而繪於地質圖或構造圖上者，規模更大之構景，則於基礎構造學中論之。基礎構造學（tsectionics）研究地球之粗構景（broad features）及其成因。

本書之書名，重心在對地球作全面之討論。學者之興趣，如在褶皺構造之成因，鹽丘之地下形狀之研究方面，或僅着眼於大型構景時，可能對物理原則之探討，及物質性質之描述，漸失興趣而甚感厭煩。但

2 地球構造概論

吾人應了解物質之習性，為構造地質學中重要之一環，而對物質在不同狀況下及長時期作用下之性質之了解，對多數結構成因之解釋，極為重要，而對基礎構造學理論而言，亦具重要性。

物性之研究；微性與半微性構景之描述；對區域地質之作圖以及在構造，岩性，及層位關係各方面之詳細研究；以及對地球內部狀況之分析；均屬地球全面構造之問題。對上述各部門成因基礎之綜合推論，必須與從各方面所收集之資料相符合。因此，大地構造學（geotectonics）各類研究中最價得研究的一項。

由於岩體之構造為一切地質問題之基礎，研究構景時，必須顧及多種研究之目的。地質構造之智識，對地質學之應用方面，如地下水文學、工程地質學、石油地質學、採礦地質學等，均極重要。研究時一方面應明瞭岩體在地表之分佈，另一方面對岩體在地面下之形態，也亟須加以了解。許多封油構造（petroleum traps）均可稱為構景（例如背斜、斷層等），地層學者應確知層位油封之構造方位，如地層尖、不整合、珊瑚礁、多孔性油封等，以確定儲油位置，發展石油生產。對一礦體或具有經濟價值之岩體，例如對煤層或石灰岩之形狀及範圍之估計，可以決定該礦是否有開採之經濟價值。對一經斷裂移位之礦體或煤層，如預先有所了解，可以決定開採時為贏利或虧損。許多大工程之所以毀壞，主要由於對基岩構造之錯誤判斷。在活動性斷層之上修築水壩，事先必須考慮一旦斷層發生活動時所應採取之措施。有時水壩及橋梁竟銜接於片狀岩層上，此種片理方向，受壓力負荷時，即導致全部工程之破壞。

地層學家應了解一地區之構造及其時代，以便在移去該區所受之變動因素時，可重建該地之古地理環境。對鹽丘中礦體之構型，以及對高均壓下石鹽性質之研究，均有助於了解鹽丘構造之生成。總之，構造可用多種方法加以研究，範圍小自微性，大至全球性，小自了解一

方解石單晶之變形過程之原因，大至歸納出一套全球性之構造型式。

研究構造之方法 (Structural Methods)

獲得各種構造資料之方法可大別如下：

1. 測繪地質圖。
2. 空照圖之判讀與地貌分析。
3. 地下方法（鑽井紀錄之解析，地下圖之製作，地球物理數據之解析）
4. 地球物理方法
5. 岩石構造及結構之半微性分析
6. 岩石結構之微性分析——岩組學
7. 實驗方法
8. 理論方法——變形之數學理論
9. 合成方法

構造數據最主要之來源仍為地質作圖。圖上表出各岩層之分佈；層間接觸面之位態可以讀出，而地層在深處之形狀可加以推測。火成岩及變質岩區之地質圖上可見岩石中之平面及綫狀構造。岩體之大規模構造可藉分析此種構造而明瞭。

所謂地下方法，應包括各種測定地表面下岩體形態之方法。地下方法包括作各種斷面及深處之投影圖，其所根據之資料為岩石在地表之形狀，以及由鑽井，地球物理方法或礦井中測得之據點（control points）之值。各法中以構造等高綫（structure contour）及等厚綫圖（isopach maps）最為有用，容後討論。

地球物理學不僅對測定地層面之深度及其在空間之位置極為重要，而對地殼此一構造單位，及地球深處之構造及組成狀況提供最有力之

4 地球構造概論

綫索。關於海盆之構造，目前所知，大部均得自地球物理方法。地球物理方法有助於探知異常地帶，從而劃出可供細部研究之潛在地區。

構造分析之半微性方法，包括在野外觀察岩石之結構以及各不同構造因子間相互之關係。此項研究應包括變質岩之節理，解理，葉理，侵入岩之流紋，地層之層面，以及上述各項面性及線性間關係之幾何分析。對於變質岩帶及屢受變動之區，其複雜之岩體形狀已無法以傳統之地質測圖方法處理時，此類分析證明十分有效。若干半微性分析部門，已自微性岩組分析法中，接受統計方法及對稱觀念。

岩石如經變形或變質，其結構之改變，例如在應力場下晶軸之等向排列，或變形前後再結晶作用之影響等等，均可由岩組學之研究加以確定，岩組學對岩石變形在實驗上之研究，證明十分有價值。目前正用實驗方法，以探討礦物及岩石在高均壓，不同溫度，以及應力場下之習性。變形後之試樣，則以岩組學之方法分析，從而確定礦物之結晶方向及滑移面等等與所加之應力間之幾何關係。動力構造地質學此一名稱用於研究應變與應力場間之關係。如研究不涉及此二者之關係時，則方法屬於動態(kinematic)——僅根據運動之形式而不提及所加之力。在動力地質學方面之研究對於地殼深處之變動狀況，提供新的觀念。其他不同之實驗，如利用比例模型(scale model)及合成物質，以模擬大規模之構景，自褶皺至山系。此類實驗，有時也用作理論上之證明。

應力，應變以及彈性等數學理論，曾引用於進一步解釋岩石之變形(yield)及失抗(failure)方式，自然界岩石之變形，變化多端，難以作嚴格之理論分析，但在褶皺及斷層之程理問題上，却根據理論推出若干有意義之結論。此類方法如佐以實驗及野外工作，則效果更佳。

合成一詞，表示集合各項已知資料，構成一整體之圖案。因此合

成方法，屬構造分析之重要方法之一。此種融合區域地質，地底狀態，岩性及年代各項細節之工作，對重建構造之發育史，極有幫助。同時也促成了多項理論上及實用上之新發現。地槽，大陸飄移，造山運動等觀念均為此方面研究之結果。

原生及次生構景區分之間題 (The Problem of Distinguishing Primary and Secondary Features)

第三章至第九章專用於討論岩體中各構景之形狀，內部及外部構造，以及成因之類型 (mode) 等問題。部份將討論之構景成自沉積時期或火成岩侵入及結晶時期。其餘之構景則由沉積或結晶以後經變動而成。區分此種晚期之次生構景與早期之原生構景並非易事，而區分疏鬆沉積物沉積當時與沉積後之構景則尤為困難。區分未固結沉積物與已固化岩石中所成之構景，也常非易事。問題之產生，是由於固化之岩石，受高均壓及高溫之作用，發生塑性，而接近地表黏土之性質。在變質岩中，由於全部岩石結構多已經變動，問題更為複雜。若干構造，如交錯層 (cross bedding)，波痕等，均成於沉積時期，其餘之構造，如褶皺中所見者，則發育於岩化 (lithification) 及實化 (compaction) 時期。沉積時形成之構景不應列入次生構景，但沉積以後，沉積物尚未固結前之時期，則均可生成次生構景。此點亦甚為重要，因一未固結之沉積物，易於產生坍塌及實化型之構景，而與受外力作用形成之構造相似。除重力之作用以外，鬆軟沉積物也可能受應力作用，而產生與發育在變質岩或固結岩上類似之構景。尖滅及隆起構造或因分異實化作用造成，或由一組具不同物理性質之交互地層經析離而成。此類構造見於沉積物中，也見於沉積岩及變質岩中 (圖 7-14)。交錯層及剪力破裂 (馬尾狀破裂) 外觀常極相似，在變質岩中

每每不易區別。坍塌中可以造成複雜之褶皺。黏土及鹽層與其他岩石之夾層，在實化時產生之流動，與岩層在頁岩或鹽層上方沿層面斷層滑動而產生之變形，或與褶皺時附帶產生的拖褶，可能十分相似（圖 6-13 及 9-8）。

解決原生及次生構景差別之道，通常在於確定此構景與相關之大規模構景間之關係。應詳細觀察二者之形狀，幾何型態，是否一致。

所謂地殼變動（Diastrophism）是一通用名詞，代表各種使地殼及地函岩石發生變動之作用，此種作用造成褶皺，破裂以及斷層等類應變。此一名詞也可應用於山系，大陸以及海盆之生成。一般對由重力場引起的應力造成之構景，與其他變形性之構景，如隆起，地殼壓縮等常加以區分。對此類構景成因之探討，遠不如想像中之單純。

桑叔赫氏（Horace de Saussure）（1776）根據在阿爾卑斯山區之觀察結果，認為某一礫岩層並非處於其原始位置。桑氏將原生構景及次生構景，作如下明確之劃分：

……余見礫岩層之直立而深異之。余之驚異非為無因，蓋礫岩之生而為直立者，未之有也。

物質之細粒者，懸浮於液中，固可膠結而生垂直之層，如見之於蠟石，瑪瑙，偶亦見之於人造結晶者。如言一大若人道之石，而居於一豎壁之間，其周填以細石，膠之結之，而固之於斯處，則妄也。故曰此岩層實生而為水平，先經固結而後傾斜，應為不移之論也。

沉積岩中之層理，是否可能生而具有高度傾斜，（超過反射角），已非地質學者之重要課題。變質岩中層理之形成，雖則尚無定論，但層狀岩之高傾角及褶皺現象則均認為是地殼變動之結果。同理，岩石物理性質之突變以及破裂及片理等現象，通常均視為變形之證據，雖則已知破裂可由岩漿冷卻或細粒沉積物脫水而成，又知許多發生破裂之岩石，並無受應變作用之跡象。對斷層而言，情況略同，試比較二

岩塊，其一沿破裂分離，順坡下滑，另一則受區域性壓力而橫向移動。區分大規模之岩體下滑與地殼變動，究竟需採用何種標準？或此二者竟無從區分？由上述各點觀之，應知在討論構景之成因時、用詞亟需小心。

岩石變形之主要跡象 (Key Indicators of Rock Deformation)

岩石之變形，通常行之於岩體外形之改變，而外形之改變，則源自各岩體組成部份結構之更動。例如石灰岩中雙晶之發生；碎屑岩中粒子之旋轉及重整現象（圖 1-1）；碎化作用；再結晶作用；扁化作用（

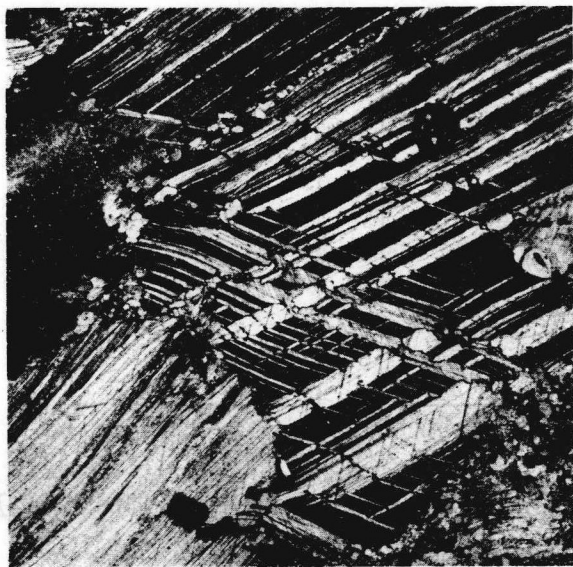


圖 1-1 方解石之碎化結構， $\times 29$. (Alen Spry, 1964)

flattening)；延伸作用；黏土及頁岩之滑動等均屬此類。上述各種作用所造成之特有結構，為構造岩石學或岩組學研究分析之對象。

各種地質實物 (geological objects) 之變形，為岩石之變動提供部份重要線索。如須利用此類資料，則須知此實物之原始形狀。此類研究，最著名者為變形魚子石 (圖 1-2)。各種化石因其外形規則，故亦適合於此類研究。郭思俾 (Crosby) 氏 (1963) 利用經變形之腕足類 (圖 1-3) 以導出佛蒙特州西部各次不同變動之影響。其方法為求出此化石之最大延伸，與該地褶皺程理間之關係。

利用變形之地質實物之另一實例，為對片岩中石榴子石變斑晶 (porphyroblasts) 滾動之研究，以測定轉動之方向 (圖 1-4) 並藉此了解石榴子石變形時發生於片岩內之運動狀況。

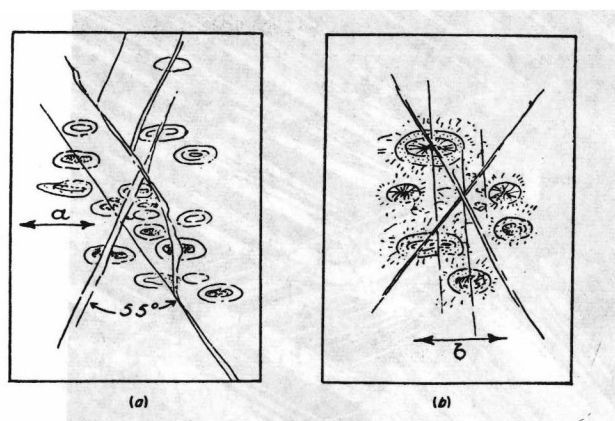


圖 1-2 馬利蘭州南山區域所產之變形魚子石以及同成之剪力及張力破裂。(Cloos, 1947.)

礦邊緣之壓變緣跡 (pressure fringess) 同樣可作類似之分析 (圖 1-6)。

總括而言，岩石變形之野外研究是根據岩體形狀變化之分析，如見於褶皺，收縮及膨脹構造；根據對岩石失掉抵抗力之分析，如見於破裂及斷層之發育；根據岩石結構變化及地質實物變形之分析，如見於化石及魚子石。岩石變形研究之他種途徑，見於理論及實驗之分析。

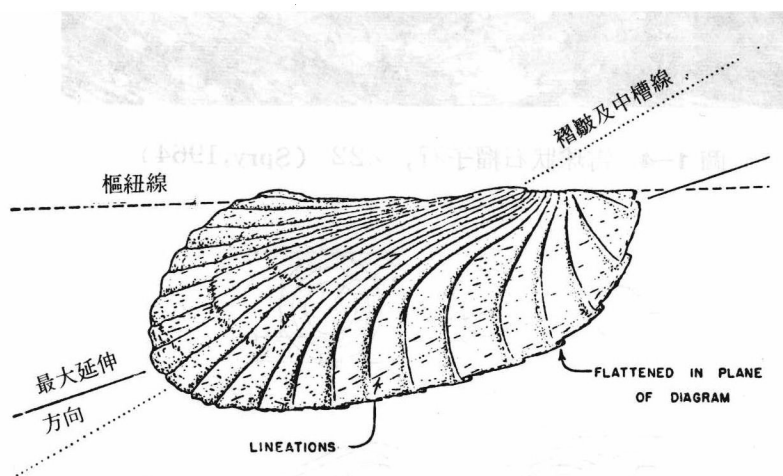


圖 1-3 佛蒙特州密得柏立複向斜產出之變形腕足動物。
(Crosby, 1963.)

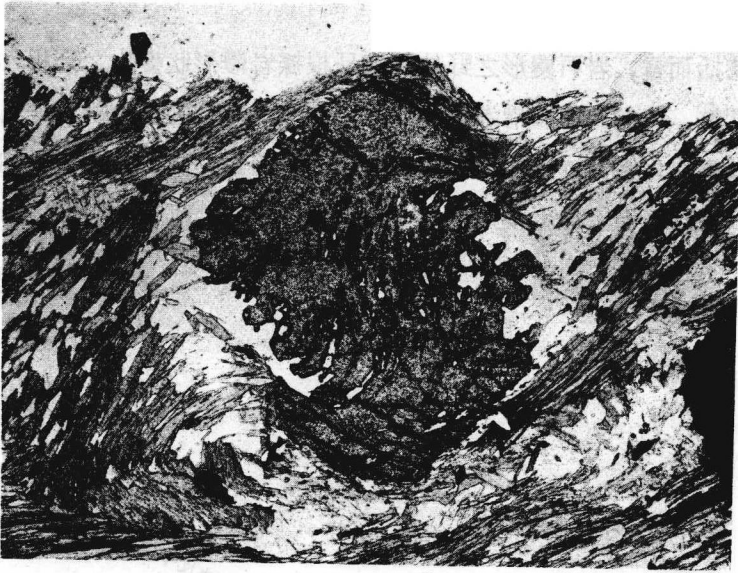


圖 1-4 雪球狀石榴子石， $\times 22$ (Spry, 1964)

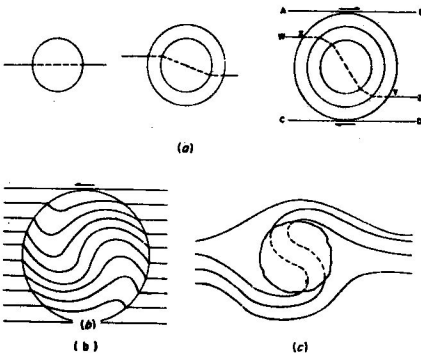


圖 1-5 旋轉構造成因之各種解釋 [Spry, 1964 : (a) 取自 Schmidt, 1918 ; (b) 取自 Mugge, 1930, P. 493 ; (c) 取自 Mugge, 1930.]

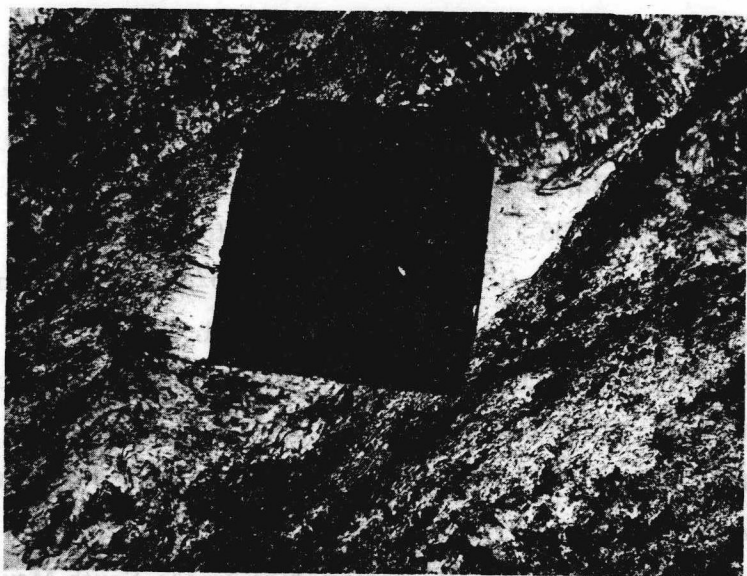


圖 1-6 黃鐵礦之壓變緣跡， $\times 80$ (Spry, 1964.)