

※因版權問題，恕不提供本文提及之插圖

第五章 變質岩(METAMORPHIC ROCKS)

基本概念：

1. 變質岩由火成岩、沉積岩或已變質的岩石變質而來。
2. 變質岩導自於溫度和壓力的變化，以及孔隙內部流體化學性質的變化，這些變化經常會產生新礦物、新岩理和岩體的新構造。
3. 沉積作用進行時，新礦物沿最小應力方向成長，形成平面狀岩石構造，稱為葉理。三大主要葉理為：(1)板岩狀劈理，(2)片理和(3)片麻岩狀條紋。
4. 單一礦物組成的岩石會發展出顆粒粗大的粒狀岩理。
5. 主要的變質岩有板岩、片岩、片麻岩、石英岩、大理石、角閃岩、變質礫岩和角頁岩。
6. 區域變質作用沿著收斂板塊邊界的山根地區發展。接觸變質作用為局部的現象，一般和岩漿侵入圍岩所引起的熱和化學變化有關。

5-1 變質岩的特性和分布(NATURE AND DISTRIBUTION)

原岩因外界溫度、壓力或化學環境的改變，轉變成變質岩。大部份原岩的岩理或構造遭受變質作用的破壞，無法辨識。變質岩通常較原岩更緊密、更重且顏色更深。變質作用常會形成新礦物，產生新的岩理，若成份不變，則礦物晶體會長得更大。變質岩的組成礦物顆粒有偏好的方向性排列(Preferred Orientation)，顯示此等礦物在應力作用下結晶，或因壓力作用而有塑性流動的現象。變質岩的組成礦物同時開始進行結晶作用，彼此在固態下競爭生長所需的空間，其成長乃依最小應力方向，變質岩因礦物的再結晶作用而具層狀或平面狀構造。

變質岩組成大陸地殼的大部份，地表的沉積岩經侵蝕移去後，大陸內部的地盾(Shield)常見大範圍變質岩的出露，變質岩和相關的火成侵入岩體約佔有整個大陸地殼 85% 的體積，其延伸至少達 20 公里的深度。除了穩定的地台和地盾外，變質岩亦常存在於山脈的根部，地函的一部份可能為變質岩(仍有待證實?)。

5-2 變質作用(METAMORPHIC PROCESSES)

變質作用為岩石的岩理和成份一系列的變化，變化朝著使岩石恢復平衡的方向進行。主要的變質營力有：(1)溫度、(2)壓力和(3)化學的變化。

- (一)溫度變化(Temperature Change)－岩石溫度升高時，礦物開始由固態轉為液態，孔隙流體的活性亦增加。低於200°C時，礦物沒有任何變化，而隨著溫度的升高，孔隙流體和岩石間的化學變化明顯進行，礦物原有的結晶格子(Lattice)被破壞，離子重新組合成新礦物。溫度超過700°C時，岩石液態部份增加，此高溫液相(Fluid Phase)成份已趨近岩漿階段，溫度繼續升高將造成岩石和岩漿共存的狀態，可能形成介於火成岩和變質岩間的過度性岩石。不同礦物的穩定溫度不同，由岩石中的礦物成份可瞭解岩石的形成溫度。
- (二)壓力變化(Pressure Change)－地殼內部的高壓造成岩石物理性質顯著改變，高壓下岩石轉為塑性，並因礦物顆粒的移動、轉動或破裂而產生變形，形成礦物的重新排列和新的岩理。高壓常產生原子排列更緊密的新礦物，而壓力來源除深埋岩層所受的靜岩壓外，壓力亦常來自收斂板塊邊界處的具方向性應力。
- (三)化學活潑的流體(Chemically Active Fluids)－變質作用常涉及化學成份的變化。變質過程中，低溫礦物分解產生流體介質，有助於離子和原子的活動。離子和原子自分解的礦物中析出，在孔隙內的流體介質裏，沿著顆粒邊緣移動，再重新組合成在新的溫壓條件下能保持穩定的新礦物。岩漿侵入圍岩時，岩漿的物質亦可能藉由圍岩的流體介質進入圍岩中，而產生新礦物，稱之為換質作用(Metasomatism)。

5-3 變質作用(METAMORPHISM)的分類

- (一)接觸變質作用(Contact Metamorphism)－當岩漿侵入圍岩時，圍岩和岩漿的接觸面，會因高溫而發生變質作用，此作用涉及離子的交換或岩漿流體的侵入。接觸變質作用只發生在火成岩和圍岩間的接觸變質圈(Metamorphic Aureole)，其寬度寬者可達二、三百公尺，甚至超過數公里，狹者僅及二至三公分，決定於侵入岩體的大小、溫度、種類和圍岩的性質。
- (二)區域變質作用(Regional Metamorphism)－規模可延伸數百或數千平方公里，溫度和壓力並重，其他變質營力亦參與變質作

用，造成葉理狀變質岩。區域變質作用多發生在褶皺山脈或造山帶中，與造山運動有密切關係。

- (三) 壓碎變質作用(Cataclastic Metamorphism)－影響範圍小，以岩石的機械變形為主，局部發生在地下淺處的斷層帶和強烈的褶皺帶。岩石組成礦物受壓力或剪力作用，成份未變，但有強烈機械性破裂，或磨壓成粉如角礫岩(Breccia)和磨變岩(Mylonite)。

5-4 變質岩的種類

變質岩的分類係根據其岩理和成份，可分為兩大類：(1) 岩石具明顯平面狀構造，稱之為葉理(Foliation)，(2) 岩石不具葉理，呈粒狀岩理(Granular Texture)。

- (一) 葉理狀岩石(Foliated Rocks)－葉理因岩石受動力作用，片狀或長條形礦物平行排列所造成，岩石經常可見不同礦物成層狀分布，相間出現。

板岩(Slate)(圖 5.1)－極細粒的變質岩，由頁岩經低度變質作用所造成。平面狀礦物如雲母、綠泥石和滑石平行排列，形成岩石極易順著板岩狀劈理(Slaty Cleavage)方向分離成平滑的岩板。組成礦物顆粒細小，需使用岩石顯微鏡方可辨識。

千枚岩(Phyllite)－外觀和板岩近似，但因雲母晶體較大，劈理面常呈絲絹光澤，其所受變質作用強度比板岩具較高的溫度和壓力。

片岩(Schist)(圖 5.2)－中、粗粒葉理狀岩石，礦物顆粒可由肉眼辨識。葉理由雲母、綠泥石、滑石和赤鐵礦平行排列造成，稱為片理(Schistosity)。除了粘土礦物以外，片岩常含大量石英、長石、石榴子石(Garnet)、角閃石和其他礦物，又可細分為：綠泥石片岩、雲母片岩和角閃石片岩。片岩變質作用強度高，其原岩種類多如玄武岩、花崗岩、頁岩和凝灰岩，片岩為數量最多的變質岩。

片麻岩(Gneiss)(圖 5.3)－為粗粒葉理狀岩石，其葉理由淺色和深色礦物呈層狀分布相間出現所形成，又稱片麻岩狀層紋(Gneissic Layering)。其主要礦物和花崗岩一致，石英、長石和鐵鎂質礦物，淺色層次由長石、石英組成，深色層次由雲母、角閃石和含鐵礦物組成，片麻岩由高度區域變質作用造成，其片麻岩狀層紋常高度扭曲，部份地區的片麻岩外已逐漸趨近花崗岩狀。

- (二) 非葉理狀岩石(Nonfoliated Rocks)－由等粒狀單一礦物組成的岩

石如砂岩、石灰岩，變質作用可壓扁、伸張和拉長其礦物顆粒，但無法形成層狀葉理，稱為粒狀岩理。

石英岩(Quartzite)(圖 5.4)一由石英含量高的砂岩變質而成。個別的石英顆粒變形並結合成一整體團塊，岩質堅實。純的石英岩為白色或淺色，但氧化鐵或其他礦物成份，常造成紅色、褐色、綠色和其他顏色的石英岩。

大理岩(Marble)(圖 5.5)一由石灰岩或白雲岩變質而成，方解石為主要的組成礦物，常呈等粒狀的較大晶體交鎖(Interlocking)在一起。純的大理岩為白色，但因常含其他礦物雜質而有多種色調和條紋，如白色、綠色、紅色、褐色和黑色。大部份大理岩形成於區域變質作用地區，其分布介於片岩帶和千枚岩帶之間。

角閃岩(Amphibolite)一為粗粒狀的變質岩，成份以角閃石、斜長石為主，雲母、石英、石榴子石和綠簾石(Epidote)亦有時存在。角閃岩由玄武岩、輝長岩或鐵鎂質高的岩石變質而成。

變質礫岩(Metaconglomerate)(圖 5.6)一數量不多，但在某些地區極為重要，岩石中的礫可顯示岩石在固態下，所能夠承受的變形程度。在具方向性的應力作用下，拉長的礫呈線性組織(Linear Fabric)。

角頁岩(Hornfels)一極細粒堅硬緻密的變質岩，常呈黑色，因岩石受接觸變質作用，礦物產生局部或全部再結晶作用所造成。角頁岩一般導自頁岩、火山岩流或其他細粒岩石亦可造成。

5-5 變質帶(METAMORPHIC ZONE)

區域變質作用涉及大型岩體構造的調整和組成礦物的再結晶作用，區域變質岩可顯示不同溫壓組合的變質帶，不同變質帶可由一定的指標礦物(Index Mineral)的出現而反映。當相當厚度的頁岩變質時，其標準的指標礦物自低度至高度變質作用，依序為：綠泥石(Chlorite)，黑雲母(Biotite)，石榴子石(Garnet)，十字石(Staurolite)，藍晶石(Kyanite)和矽線石(Sillimanite)(圖 5.7)。若原岩為其他岩類時，則指標礦物亦將有所不同，而指標礦物所定義的相鄰兩變質帶的界線稱為等變質度線(Isograd)，在此線上岩石的變質度相同。

另一類變質帶的建立則根據在一定變質條件下，所產生的相關變質岩的組合而定，稱為變質岩相(Metamorphic Facies)(圖 5.8)。每

個變質岩相有其特殊的礦物組合，並以特性岩石或礦物的種類加以命名。若以玄武岩為例，變質岩相中最低度的低溫低壓的沸石(Zeolite)相，沸石為一種複雜的含水、含鋁、含鈉或鈣的矽酸鹽類礦物。溫度升高即進入綠色片岩(Green Schist)相，主要組成礦物有綠泥石、鈉長石、綠簾石和陽起石。如果變質度或溫度再繼續升高，即進入綠簾石-角閃岩(Epidote-Amphibolite)相，除綠簾石和角閃石外，尚可能含鈉長石和鈉鈣長石。如果溫度再升高，即進入角閃岩(Amphibolite)相，角閃石和斜長石取代綠泥石和綠簾石成為主要礦物，有時尚含石榴子石。最高度的區域變質作用為粒變岩(Granulite)相，礦物皆不含水，以紫蘇輝石(Hypersthene)和普通輝石(Augite)最為常見，又稱雙輝石(Two Pyroxene)相，其他礦物尚有斜長石、橄欖石和尖晶石。若溫度再升高，則岩石進入熔融狀態。另外，在極特殊的環境下，相當高的壓力作用會造成榴輝岩(Eclogite)相，由鈉質輝石和鎂質石榴子石組成。而綠色片岩相在高壓低溫的環境下會造成藍色片岩相(Blue Schist)，主要礦物為藍閃石(Glaucophane)，為一種藍色的含鈉角閃石。

5-6 變質岩和板塊運動(PLATE TECTONICS)

根據板塊運動學說，壓力來自板塊的壓縮聚合作用，熱量在隱沒帶產生，而剪力存在於板塊彼此滑動的破碎帶和隱沒帶。在收斂板塊邊界(圖 5.9)，*褶皺山脈的根部*，原有物質為來自大陸或火山島弧受侵蝕作用所產生的沉積物，或為來自海洋地殼的玄武岩和深海沉積物。此等物質在收斂板塊邊界受到擠壓，再結晶作用形成高角度或垂直的葉理，呈平行收斂板塊邊緣的方向分布。在山根深處，變質作用強烈的溫壓並重，並有部份熔解的現象，熔解的物質被自隱沒帶上升的岩漿同化，使得火成岩基和岩脈經常和高變質度岩石相伴而生。不同的變質岩組由不同原岩產生，如大陸邊緣的砂岩、頁岩和石灰岩，沿火山島弧分布的火山沉積物和岩流，海洋地殼的玄武岩和深海沉積物的混合物。

接近隱沒帶處，高壓左右著變質作用的發展，下沉板塊表面的海洋沉積物和海洋地殼碎塊被刮起，使得深海沉積物、海洋玄武岩、其它岩類岩塊和部份上掩板塊的物質，混合成雜亂無章的團塊(Chaotic Mass)，稱之為*混同層(Melange)*。離隱沒帶遠處的山根，則存在高溫低壓的變質作用。

在板塊收斂作用的應力被消耗後，山脈的侵蝕作用開始進行，山根因大地均衡的調整而上升，演進至最後階段時，山根的岩層和

變質雜岩出露於地表，形成新的大陸地殼，整個作用需時數百萬年。此作用隨著造山運動重複進行，使得大陸逐漸長大，因此地盾裏的變質岩帶被視為古代大陸衝撞的記錄。

