

岩漿、火山及其產物

(Magma、Volcano and their Products)

李曉池 Li Xiaochi

由岩漿 (magma) 或火山物質冷卻形成的岩石叫火成岩 (igneous rocks)，它包括侵入岩 (intrusive rocks) 和噴出岩 (extrusive rocks) 兩大類型。火成岩是香港地表出露的主要岩石類型。對火成岩的研究，可以幫助解釋地質歷史中岩漿和火山活動的事件，為地質歷史的發展作科學的詮釋。

岩漿侵入 (Magma Intrusive)

地底下熾熱的岩漿 (magma) 時時都處在巨大的壓力下，往往祇能在軟流圈 (rheosphere/ asthenosphere) 之內進行緩慢地對流。但是，地球板塊在移動的過程中，往往會造成地殼破碎，產生裂縫。這時，處於高壓之下的岩漿就會趁機沿著裂縫急速上升，侵入到岩層的空隙中或者直接噴出地面，這就是岩漿的侵入活動和火山噴發。

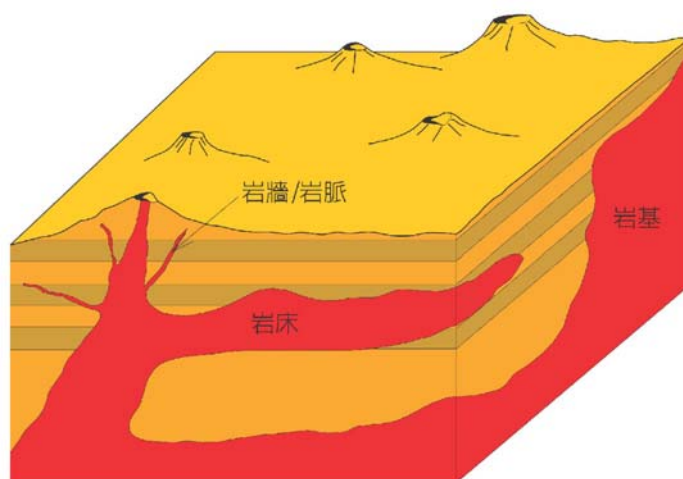


圖 1 岩漿侵入示意圖

岩漿沿著地殼中裂縫上升，侵入到周圍岩石的裂縫或空隙，當它慢慢冷卻凝結成岩時，就形成了各種類型的岩漿侵入岩體 (intrusive body)。沿水平岩層層面的空間形成的層狀侵入岩體稱為岩床 (sill)；在上下垂直延伸的節理、裂縫等處形成的侵入岩體稱為岩牆 (dyke) 或岩脈 (vein)；如果岩漿在深處侵入較大的空間，便會形成巨大的、穹窿狀的侵入岩體，稱為岩基 (batholith)。

值得一提的是，上述三種侵入岩體，都是在地殼內部形成的。也就是說，它們形成於地表以下，被其他的岩層覆蓋包裹著。而我們現今在地表看到的花崗岩等侵入岩體，是由於斷層褶皺等地質構造將它們推上地表，或者它們上部覆蓋的地層被風化剝蝕之後，才會出現的。由此，我們可以認識到大自然以及風化作用的巨大威力。

火山活動 (Volcanic Activities)

岩漿沖出地面就形成了火山。從火山口溢流出來的岩漿稱為熔岩 (lava)。火山噴發的形式與熔岩的性質密切相關。決定熔岩性質的最主要的因素之一，是二氧化矽 (SiO_2) 的含量。總的來說，二氧化矽含量低的熔岩稱為基性熔岩，反之則稱為酸性熔岩：基性熔岩的黏度不大。如果熔岩內部所含的氣體不多，火山的通道又比較通暢，基性熔岩便可以從火山口溢流出來，如同稀飯從鍋中溢流出來一樣。溢流的熔岩可覆蓋很大面積，甚至形成熔岩高原 (lava plateau)，如印



圖 2 夏威夷式火山噴溢形成的熔岩流

度的德幹高原（Deccan Plateau）。1942 年夏威夷的莫納洛亞(Mauna Loa)火山的爆發是這種火山類型的範例。因此稱之為夏威夷式火山噴發(Hawaiian)。

酸性熔岩黏度較大，不易流動，因此火山口的通道常被它自身阻塞，加上酸性熔岩中常常含有大量的氣體，所以當氣體聚積增至某個程度後，氣壓超越其覆蓋物的重量時，在巨大的膨脹壓力作用下，便會產生猛烈的爆炸，熔岩及通道四周的岩石被炸成碎片並噴射到空中，形成巨大的煙雲柱(nuēe ardente 即發光雲/熾熱火山雲)和火山碎屑流。這種類型的火山稱為普林尼式火山噴發 (Plinian)。

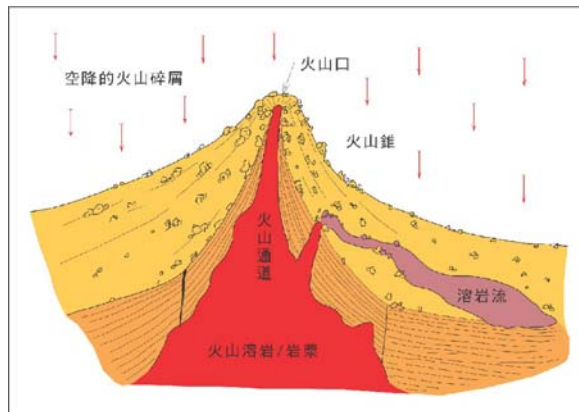
夏威夷式和普林尼式是兩個非常重要，而又絕然不同的火山噴發類型的代表。大自然是千變萬化的，當然還存在不少界於這兩者之間的其他類型的火山噴發活動。

火山爆發所形成的圓錐形的山，稱為火山錐 (volcanic cone)。位於火山錐頂部的漏斗形噴口稱為火山口 (crater)；火山口以下為一條通往地下的長管，它是岩漿流動的管道，稱為火山通道 (vent)。火山停止活動後火山通道一般被凝固的熔岩或者火山碎屑物和圍岩碎塊填塞固結，形成火山頸 (volcanic plug)。火山頸周圍的岩石常常比火山頸更容易風化，而留下火山頸形成“一柱擎天”的奇特地貌。



圖 3 菲律賓 Mayon 普林尼式火山爆發的景觀

地下的岩漿噴發之後在地底形成一個很大的空間，當它上邊覆蓋的地層坍塌後，會形成一個巨大凹坑，這個凹坑被稱為破火山口 (caldera)。破火山口內



有時會有一個至數個後期繼續噴發形成的火山錐。而且，火山口或破火山口常會積水成湖，例如中國東北長白山主峰天池就是一個典型的火山口湖。

火山活動的產物—火山岩(Volcanic Rocks—the Products of Volcano)

圖 4 火山結構示意圖

火山噴發的物質有三種類型：**氣態物質**以水蒸氣為主（佔60%-90%），形成煙雲；**液態物質**是火山口溢出的熔岩(lava)，具有流動性；**固態物質**，則是隨著氣體直接從火山口噴射到空中，再落到地面的火山碎屑(tephra)。火山碎屑是火山岩最主要的組成成份。火山碎屑的組成，除了由熔岩本身冷卻凝結而成的碎屑外，還有火山口附近崩碎的岩屑。它們按其大小可分為火山彈(bomb)、火山礫(pyroclastic breccia)、火山砂(pyroclastic sand)和火山灰(pyroclastic ash)等。

大部分的火山碎屑都在靠近火山口的地方堆積起來，形成各種粒度的岩石，包括含巨大岩塊的集塊岩(agglomerate)，火山角礫岩(volcanic breccia)，以及粒度較細的凝灰岩(tuff)。極細的火山塵(volcanic dust)可隨氣流飄到數百公里以外，它們沉澱下來並固結形成凝灰岩；在火山爆發的過程中或爆發之後，由於降雨或山上積雪溶化而形成水流，水流會裹攜火山碎屑順山勢流下，造成火山泥流(lahar)的發生。火山泥流可快速地順著山坡流動達數十公里，具有極大的破壞力；火山活動期間在低窪地方的積水中，會形成一些沈積岩。由於它們往往含有火山灰等凝灰質的成分，我們將它們歸入火山沈積岩，稱為沉凝灰岩(tuffate)。

火山活動與形成的相關岩石類型可大致歸納為下面所附的表格。

火山活動方式	環境	岩相類型	岩類—岩石
噴溢作用	地表開放環境	噴溢相	熔岩類：玄武岩，玄武安山岩，安山岩，英安岩，流紋岩
爆發作用		空落相	正常火山碎屑岩類：凝灰岩或火山礫凝灰岩
		爆發崩塌相	正常火山碎屑岩類：集塊岩，崩塌角礫岩
		火山碎屑流相(及地面涌流相)	熔結火山碎屑岩類：熔結凝灰岩，熔結角礫岩，火山灰流凝灰岩
		火山泥石流相	沉積火山碎屑岩或火山碎屑沉積岩類：沉集塊角礫岩，沉角礫凝灰岩等
蒸氣爆發作用		基底涌流相	沉積火山碎屑岩類：爆發角礫岩，凝灰角礫岩，角礫凝灰岩，含角礫玻晶凝灰岩，浮岩屑凝灰岩，玻晶(晶玻)凝灰岩，玻屑凝灰岩，增生火山礫凝灰岩等
沸(爆)溢作用		沸(爆)溢相	碎屑熔岩類：凝灰熔岩
噴發沉積作用	火山噴發沉積相	沉積火山碎屑岩類：沉凝灰岩，沉角礫凝灰岩 火山碎屑沉積岩類：凝灰質岩石	
侵出作用	地表與地下兼有的半開放與半封閉環境	侵出相	碎屑熔岩類：碎斑熔岩，流紋斑岩岩穹
		火山頸相	熔岩或碎屑熔岩類：角礫熔岩，碎斑熔岩等
次火山作用	地下淺處封閉環境	次火山岩相	次火山岩類：花崗斑岩，石英斑岩，流紋斑岩，霏細(斑)岩，各類玢岩等
侵入作用		侵入相	侵入岩類：石英閃長岩，鉀長花崗岩，二長花崗岩，花崗(斑)岩，石英斑岩，石英二長岩等

圖 5 火山活動方式與形成的岩石



圖 6a 條紋斑雜構造凝灰岩

火山活動複雜多變，可形成各類繁雜的岩石組合類型。各種火山岩的分佈完全由火山活動的機制所支配。例如，接近火山口的噴出岩常含大量角礫，形成火山角礫岩，甚至集塊岩。火口附近岩漿房空虛後發生坍塌，在破火山口內常形成含巨大岩塊的集塊岩。火山碎屑流形成火山角礫岩或含礫凝灰岩，其中的礫石或角礫在岩石中有時呈定向排列。這些礫石或角礫在高溫及一定壓力作用下扭曲變形，形成條紋斑雜構造凝灰岩（Eutaxitic tuff）或火焰石。火山灰流則常常形成流紋構造或流動層理。離火山口越遠的地方，火山灰形成的凝灰岩粒度越細。顯然，在每一次火山的噴發過程中，在火山的不同部位，所形成的岩石類型是不相同的。在火山岩地區填制地質圖和作地質研究，就是要仔細考察火山岩的類型和組合，並嘗試根據火山岩的類型和它們的組合，恢復火山噴發的原始態勢，推斷火山活動的機制和瞭解火山噴發的歷史。

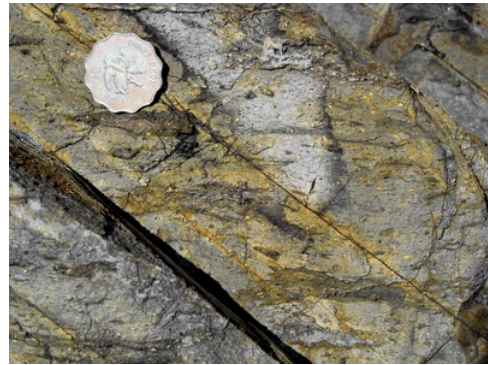


圖 6b 條紋斑雜構造凝灰岩

火山沉積相模式(Volcanic Deposit Model)

由於熔岩性質及火山所在地區地質地理條件的差異，造成火山噴發的具體形式和最終產物，即各種火山岩石的不同組合千變萬化，各不相同。但是，它們都有一個大致的規律可追尋。下面僅以普林尼式火山爆發作為例子，介紹該類型火山大致的噴發過程及火山沉積的模式：



圖 7 見於鴨脷洲的湧流堆積形成的砂岩/
含礫砂岩

普林尼式火山爆發可大致分為三個階段

1) 初期階段是以含大量蒸氣的岩漿噴發為主，形成一個巨大的熱氣浪。前鋒熱氣的底浪，會攜帶著細粒火山碎屑順著山坡運移，同時將一些原地的砂泥、礫石等捲入。由於能量損耗而逐漸沉積下來，形成火山基底涌流(base surge)堆積。從成因上看，涌流堆積的外表特徵與正常的風成和水成沉積岩極為相似，具粗細分層及各種層理等。

2) 緊接著的第二階段，是以大規模的火山碎屑流爆發為主。這種碎屑流是高溫氣體、熾熱岩漿熔體、地內已形成的礦物晶體以及圍岩碎屑等的混合體。它們首先被火山爆發的巨大力量沖上天空，形成噴發柱，然後噴發柱由於重力作用崩塌下來，沿火山坡急速下瀉侵位，超覆在基底湧流堆積之上。

3) 最後階段是火山灰雲降落沉積階段。在噴發柱上部，由大量氣體攜帶微細碎屑及灰塵形成的蘑菇狀灰雲體，在向外擴散過程中，由於能量衰減，火山灰/火山塵逐漸降落下來，覆蓋在碎屑流沉積之上，或者漂落在更遠的地方，形成火山灰凝灰岩。

上述三個噴發階段是連續無間斷的，它們形成的熾熱堆積物，是作為一次火山噴發作用形成的冷卻整體，從而構成了一個三相成因模式，即：最下部的地面湧流相—中部巨厚的火山碎屑流相—頂部火山灰雲沉積相。

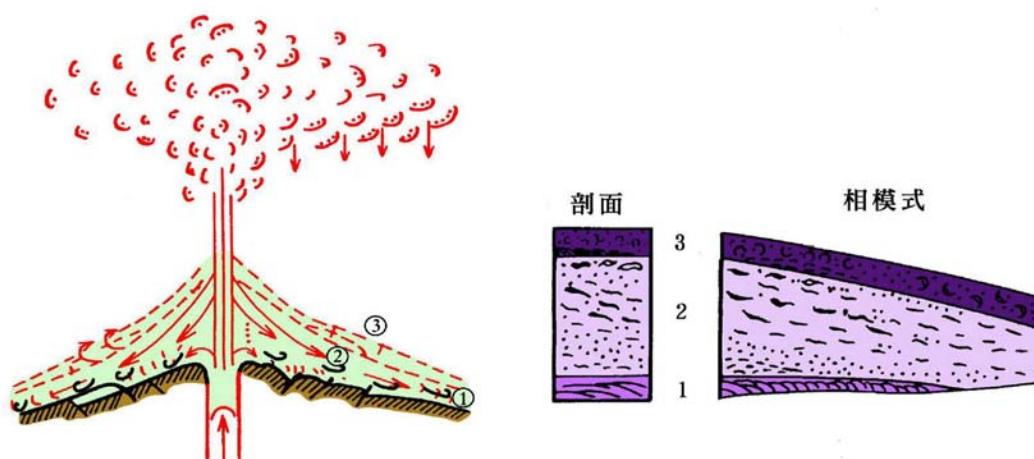


圖 8 普林尼式火山噴發及相模式 地面湧流沉積 火山碎屑流沉積 火山灰雲堆積；1-湧流相，2-火山碎屑流相，3-火山灰雲沉積相

值得注意的兩點是：

① 上面所述只是一個高度抽象和簡化了的模式。實際情況是：每一個相帶中出現的岩石類型並不是單一的，而是相當複雜。例如在火山碎屑流相中，由於溫度的差異、碎屑的成份、大小、以及後期變形程度、熔結程度的不同等因素的影響，會形成不同的岩石類型。例如溫度高的火山碎屑流會形成熔結凝灰岩（welded tuff）；含大量晶屑的火山碎屑流形成晶屑凝灰岩（crystal tuff）等；含氣體較多的熔岩常形成玻屑凝灰岩（vitric tuff）。

② 這個模式只描述了一次噴發作用。但實際上火山常常是多期反復噴發的。後期的噴發有時會破壞或改造前期形成的岩石。因此，辨識火山岩，並通過各種類型火山岩組合的地理分佈，來分析火山噴發的機制，是一個專業性很強，難度相當高的研究過程。然而它又是火山岩地區必須進行的艱難工作。香港雖然

地質圖標畫得非常詳細，但是在火山噴發機制和火山活動歷史方面的工作，尚未很好地全面開展研究，留下了很大的進一步探討的空間。