

澎湖低平火山口地質地形自然景觀登錄

文 • 圖 / 莊文星

摘要

澎湖玄武岩之分布十分廣泛，除花嶼外，遍及澎湖全縣諸島嶼，地形保留相當完整，可說是臺灣西部火山區之代表。由玄武岩熔岩所構成的火山島嶼，地勢低平，多方山地貌，由於澎湖列島位於臺灣海峽北港高區上，新生代東寧造山運動所衍生之斷層、褶皺、岩石變形與變質作用的影響不顯著，因而火山特有的地形與火山口相構造特徵保持完整。加上澎湖沿海潮差大，海蝕平臺寬廣，植生被覆少，岩石裸露，火山岩石構造容易觀察，為一個探討玄武岩火山構造極理想的區域。

在澎湖烏坎寬廣之海蝕平臺上發現有大規模古熔岩湖、熔岩流之溢流構造現象。再經由烏嶼、金嶼和員貝嶼等火山頸—火山口之系列組合，建立了澎湖低平火山口之分類體系。由噴出地表之熔岩湖、噴氣口、火口垣、次火山岩之侵入潛伏穹丘構造，及水平放射柱狀節理排列石柱圍繞著一凹洞所呈現的火山筒火口構造，進而衍生擴展至建立一個多樣性低平火山口相構造體系，可作為玄武岩區古火山口調查研究之範例。

澎湖西嶼學仔尾與澎湖本島乳仔尖山等地存在著瑪珥湖與瑪珥火山之特異現象，經由繩狀熔岩流所形成的同心圓構造（烏坎、金嶼）、蛛網八卦式圓穹狀構造（桶盤蓮花座、西衛大石鼻、風櫃），及至圍著一凹洞呈水平面放射柱狀節理石柱之火山筒火口相地貌（尖山、金嶼），搭配著無數噴氣口所衍生之潮池及岩石多氣孔、溢氣管構造（學仔尾、乳仔尖山），推斷為屬富含熱液與蒸氣岩漿噴發所形成的瑪珥式低平火山。澎湖火山類型幾乎涵蓋了玄武岩質熔岩之岩漿爆發與蒸汽岩漿爆發的各種類型，包括熔岩錐、濺落岩屑渣錐、混合錐及瑪珥火山多氣孔、溢氣管玄武岩之低平火口。澎湖火山口可分為熔岩湖、火口環、水平面放射狀柱狀節理之熔岩或凝灰岩火山筒火口、火山頸—火山口系列組合以及瑪珥火山等六大類型。

根據火山口相調查，澎湖火山口變化具有多樣性、系統性、典型性，在國內外同類地質遺跡是罕見的，屬名副其實大陸裂谷型玄武岩火山地質公園。

關鍵詞：澎湖、低平火口、瑪珥火山、熔岩湖、地景、成因、桶盤嶼、烏坎

前言

澎湖玄武岩與臺灣北部或東部安山岩岩石與地形地質景觀為何有極大的分別？在大地構造上或岩石成因上是否存在著極大的差異？由圖 1 就可看出一些端倪。島弧鈣鹼岩系的安山岩是形成於隱沒帶；而澎湖大陸裂谷型的玄武岩則是由沉降於 650 公里地震不連續面處的巨石體（圖 1a），在逐漸增溫下，產生部分熔融作用，此時較耐高溫、不易熔化的礦物石榴子石與輝石形成榴輝岩質塊體，比重較大，因而下沉。熔化產生的斜輝橄欖岩物質，比重較輕，湧升上浮，發生部分熔融，產生鹼性玄武岩漿活動（圖 1b）。

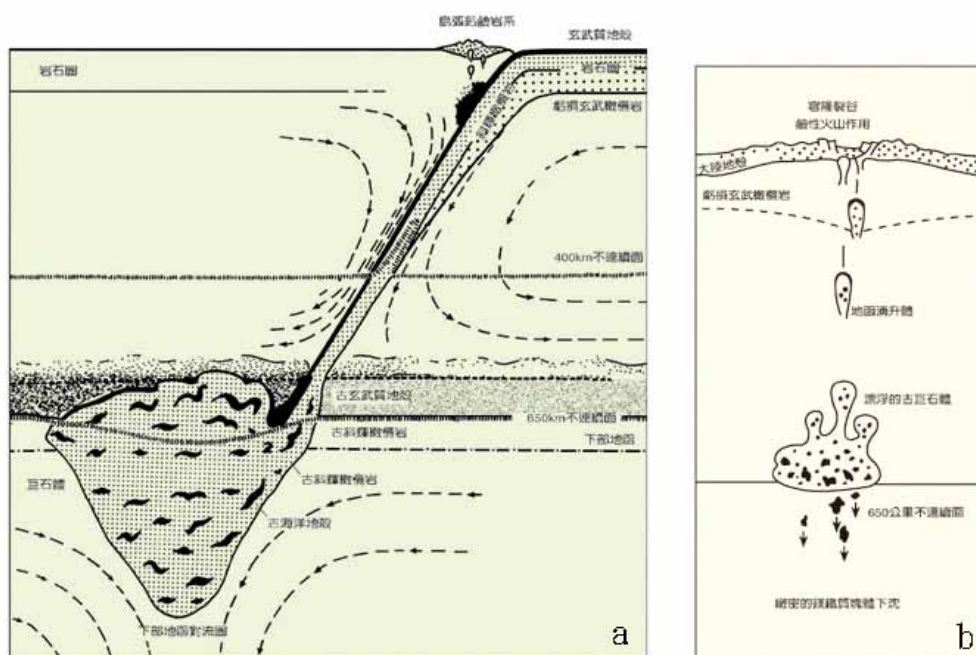


圖 1. 隱沒帶沉降的海洋岩石圈板塊在 650 公里地震不連續面處形成了巨石體。當古老巨石體升溫時，榴輝岩質塊體下沉，斜輝橄欖岩質物質湧升上浮，發生部分熔融，產生鹼性玄武岩漿活動。

老的海洋地殼所成的板塊不斷由中洋脊的兩側被推移而分離，不斷向外移動，這種作用持續進行著，一直等到該板塊的前端和另一板塊碰撞接觸，構成板塊的聚合界線。在這界線上，較重的板塊就沒入較輕的板塊下面，熱流減低而產生向下的對流運動。板塊的下沈地帶在地形上造成海溝，下降板塊呈數十度的傾角下沈，使老的岩石圈又下降回到地函中去，這叫隱沒帶。因為上下板塊的互相摩擦，沿著隱沒帶可以不斷的發生地震，所以又造成一條地震帶，從地面上最淺的地震震源，到隱沒帶最深約為 700 公里處的震源，這隱沒帶又名之為班氏地震帶或班氏帶。當下沈板塊沿隱沒帶到達深約 100 公里左右的地方，因為上下板塊相互摩擦生熱，在這個深度就可以使兩板塊的岩石與混雜其上的沈積物一起融化成岩漿，產生的岩漿由於密度較低，就因浮力上升噴出地表而造成火山。

島弧火山岩是由於板塊的隱沒摩擦生熱、低溫含水低熔點礦物之地殼物質的介入和高溫上部地函的多重影響，而造成海洋地殼的部分熔融，其生成的深度，相對而言，是較淺的，約為 70~150 公里。而大陸裂隙的玄武岩是由於張力作用，致使岩石圈被拉伸、破裂，古老的巨石體升溫，重的塊體下沉，輕的物質湧升上浮，發生部分熔融，其生成深度，相對而言，是較深的，約為 350~650 公里（圖 1）。



圖 2. 澎湖七美嶼西北灣玄武岩柱狀節理海崖。

從兩千多萬年前之中新世以來，中國南海之擴張方興未艾，此時在陸緣地區，形成了許多由正斷層所構成的半地塹構造。由於南海擴張所引發的熱力與裂隙作用在臺灣西部麓山帶及澎湖列島引發了一系列火山活動。澎湖玄武岩之分布十分廣泛，除花嶼外，遍及澎湖全縣諸島嶼，地形保留相當完整，可說是臺灣西部火山區之代表。多柱狀節理所構成之壯觀海崖，其中以七美西北灣為最，高達四、五十公尺（圖 2）。由玄武岩

熔岩所構成的火山島嶼，地勢低平，多方山地貌，由遠眺為口字型（圖 3~5）。雖然火山錐體與伴隨之火山口地貌不顯著，但由於澎湖列島位於臺灣海峽北港高區上，與臺灣本島相比較，新生代東寧造山運動所衍生之斷層、褶皺、岩石變形與變質作用的影響不顯著，因而火山特有的地形與火山口相構造特徵保持得相當完整（圖 6）。加上澎湖沿海潮差大，海蝕平臺寬廣，植生被覆少，岩石裸露，火山岩石構造容易觀察，為一個探討玄武岩火山構造極理想的區域。



圖 3. 澎湖桶盤嶼西南岸圓穹狀低平火山口地形空拍圖，遠方為虎井嶼。

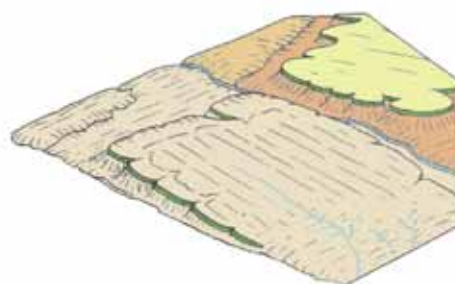


圖 4. 玄武岩熔岩所構成之方山地貌示意圖。



圖 5. 澎湖東吉島堅硬之玄武岩覆蓋於鬆軟軟弱的沉積岩或凝灰岩地層上，形成平坦的方山地貌。



圖 6. 澎湖烏崁低平火山口熔岩湖底部同心圓狀構造。

澎湖海蝕平臺古火山口遺跡探索

多年來經過眾人的努力，澎湖火山口或近火山口相之研究已逐漸明朗。澎湖地勢南高北低，北迴歸線以北之諸群島，潮間帶寬廣，為野外調查之重點區域。澎湖潮差大，潮間帶面積高達群島之 30%，加上位於北港高區上，受到第四紀東寧造山運動的影響，相較於臺灣本島而言，就構造或岩石變質與變形的影響，可說極輕微，少地震、斷層和褶皺，是臺灣主要的地震空白區。臺灣地震空白區，包括中央山脈—雪山山脈變質岩區、桃園一帶之觀音高區、彰化—雲林一帶之北港高區及高屏地區。這些地震空白區顯然與臺灣之地體構造關係密切，都代表較穩定的地塊，其中尤以北港高區和觀音高區為最，區域內久未發生地震，無活動斷層。

在一地形起伏平緩、潮差大、潮間帶寬廣、原始火山地貌未受擾動的澎湖海蝕平臺地區也更由於少植生覆被，岩石完全裸露，實為探討低平火山口的優良區域。

澎湖烏崁—鎖港一帶海蝕平臺寬廣，退潮時見有同心圓狀構造及外環稍微凸出之垣（圖 6）。參考比較高雄燕巢新養女湖與屏東萬丹泥火山，推測此海蝕平臺為一古熔岩湖熔岩冷凝而成之火山口與火口垣。火山爆發，熔岩溢流出地表，有時會如滅火器中的液體一樣噴射出來，形成火焰般的岩漿噴泉，高度有幾十公尺。熔岩在熔融狀態下的流動性隨岩漿二氧化矽的增加及黏度加大而減弱。玄武岩之基性熔岩黏度小易於流動；酸性熔岩的流紋岩則較不易流動。由於熔岩化學組成成分的不同或火山環境的差異，熔岩有多種表現形式。

岩漿流體在地表流動的熔岩稱為熔岩流。呈液態流動的熔岩溫度常在 900° ~ 1200°C 之間，如熔岩中氣體的含量多，更低的溫度也能流動。大面積的熔岩流常為基性熔岩。溫度高、坡度陡時，熔岩流的流速可高達每小時 65 公里。熔岩流的形態取決於多個因素，如熔岩成分（玄武岩、安山岩、英安岩或流紋岩）、流量、地形和環境等。

澎湖烏崁、將軍澳嶼風櫃等地海蝕平臺常見古熔岩流遺跡（圖 7~10）。一

般的繩狀熔岩流動方向都呈弧形彎曲或呈鏈形排列，弧頂多指向熔岩流動方向（圖 7）。由一中心口向四方溢流之熔岩漿，因岩化學組成成分的差異所形成之繩狀構造亦有很大的差異。在澎湖，通常矽質玄武岩形成一圈圈繩索圍繞而成的同心圓構造，經風化後呈淡黃褐色之外表（圖 8）。而鹼性玄武岩繩狀結構較粗且岩石顏色較黑（圖 9、10）。由烏坎、全嶼、望安島、將軍嶼熔岩流所構成的海蝕平臺仔細觀察，並和高雄燕巢及屏東萬丹鯉魚山泥火山所呈現的同心圓構造對比（莊文星，2010；莊文星等，2009），不難發現古熔岩池與古火口之存在（圖 6~10）。



圖 7. 澎湖烏坎古低平火山口熔岩湖底部熔岩流構造。



圖 8. 澎湖風櫃同心圓繩狀熔岩環繞所形成之低平火山口。



圖 9. 金嶼海蝕平臺空照圖



圖 10. 金嶼海蝕平臺中心下凹負地形之低平火山口。

塊狀熔岩(aa-lava)是夏威夷詞彙，音「阿阿」，用來描述表面粗糙的熔岩。這種熔岩中布滿多孔帶刺的熔岩碎塊或渣塊。渣塊熔岩是因熔岩在流動過程中，表層熔岩不斷固結，固結的表層隨著熔岩的流動不斷發生脆性破裂，形成渣塊，渣塊又隨熔岩流體翻滾、黏結，常形成翻花狀，因此渣塊狀熔岩又稱為翻花熔岩。中國五大連池就有翻花石海之奇異景觀。澎湖員貝嶼及錠鉤嶼海蝕平臺就有可能為熔岩底部或熔岩穹丘外圍之邊緣地帶，因受剪切流動力的影響而形成水平剝離裂隙至扁平板狀節理等有如翻花石海景象的海蝕平臺（圖 11）。此類型之板狀玄武岩於菓葉、青螺海蝕平臺出露，呈平滑弧狀之凹面（圖 12），為近火山口相之塊狀熔岩，其鄰近區域海蝕平臺亦常見有構造完整、保持良好的低平火山口（圖

13)。



圖 11. 員貝嶼翻花石海之海蝕平臺地貌，推測為岩體底部或外圍因受剪切流動影響而形成板狀至水平節理構造之熔岩流。



圖 12. 湖西菓葉由熔岩湖熔岩流下部呈弧形板狀構造玄武岩所構成的海蝕平臺。



圖 13. 西嶼菓葉海蝕平臺上的低平火口。

桶盤嶼位於馬公港西南方約 7 公里，船程約 20 分鐘，面積約 0.3439 平方公里，是一標準的方山，地勢南高北低，東、西、南岸都是柱狀玄武岩海崖。本嶼面積雖小，地質與地形景觀卻是澎湖群島的縮影。

桶盤嶼為一圓形低平之火山島嶼，四周直立式玄武岩柱狀節理發達，從海上遙望彷彿如古早年代一桶箍著木片的圓桶，因而得名（圖 14）。



圖 14. 澎湖桶盤嶼空拍全景。

夏威夷熔岩池式低平火山口地貌於桶盤嶼西南方海蝕平臺之蓮花座地質景點表露無遺（圖 3 與圖 15）。推測因基性熔岩黏度小，氣體含量少、活動力不強，熔岩緩緩溢出所形成之地貌應當與澎湖烏崁低平火山口熔岩池底部所表現之同心圓狀構造（圖 6、7）相仿。若岩漿之水含量與氣體含量逐漸加多，則平面式同心圓構造將轉變成風櫃低平火山口現象（圖 8）。當氣體含量再提高，上湧力道加強，則矽質玄武岩質岩漿與氣泡上湧，而所形成的形貌就可能接近於桶盤嶼西南岸海蝕平臺蓮花座之蛛網八卦式中心微凸穹狀正地形之低平火山口地貌（圖 14、15）。馬公市西衛大石鼻穹狀低平火山口，可能為熔岩湖的另一類典型代表，它的特徵已具備了環狀與放射狀二組裂隙節理系統（圖 16）。



圖 15. 澎湖桶盤嶼西南岸蓮花座圓穹狀之低平火山口空拍圖。



圖 16. 馬公市西衛大石鼻蜘蛛網八卦式中心微凸穹隆之圓穹狀低平火山口，具有環狀與放射狀二組節理系統。

澎湖西衛大石鼻潮間帶有一低平火山口（圖 17），利用動力飛行傘空中攝影清晰可見。推測此乃熔岩池繩狀熔岩所構成之低平火山口地貌，當熔岩停止溢出而冷卻凝固，可能因體積回縮而造成中心下凹之負地形小水塘。但考究其大小，若為大型熔岩湖直通地表之熔岩管道殘留，則略顯規模過小，似乎有可能為大型熔岩湖中的一個噴氣口或大氣泡殘留（圖 17）。



圖 17. 澎湖西衛大石鼻橢圓形負地形之低平火山口。

熔岩湖式火口

澎湖玄武岩岩漿質稀黏性小，屬比較靜態的液流，爆發指數小，主要呈岩流、熔岩湖。爆發活動微弱，流動狀態氣泡微弱地噴發，形成繩狀、塊狀與波狀熔岩。熔岩通道一般為熔岩充塞，其所含火山灰與碎屑物很少，幾乎沒有基座岩石的碎屑物。熔岩噴發易形成盾火山，極稀薄不黏稠的玄武岩質岩漿大規模泛流，可形成極寬廣的熔岩泛流平原。

當地下之岩漿經由火山通道直接噴出地表，岩漿匯聚形成熔岩湖，根據其熔岩流所表現的繩狀熔岩或塊狀熔岩之形式復可分為水平面同心圓（圖 6），水平面或近乎平面蛛網八卦形（圖 14、15）、中心向上隆起正地形之穹狀火山口（圖 16），以及中心下凹之負地形熔岩湖（圖 17）。

參考比較烏崁海蝕平臺低平火山口（圖 6）與頭巾嶼海蝕平臺之同心圓，以及無論就橫剖面或縱剖面都可見弧形之凝灰碎屑岩之環形牆圍繞所形成的低平火山口（圖 18），圍繞著火山窪地，具有輻射狀節理，此為火山口之特性指標之一。



圖 18. 頭巾嶼低平火山口及其弧狀環形牆。

火山射氣岩漿噴發火山口與噴氣口之瑪珥火山

西嶼舊名漁翁島(Vessers Eyl)位於澎湖本島西方4公里處，成南北延長，蜿蜒長9公里。由學仔尾附近瞭望緝馬灣、內垵間海岸的漁翁島層地層，為以三至四層玄武岩-凝灰岩以及三層沈積岩組成。凝灰岩分布最廣，可說是澎湖本島火山群的火山活動初期的產物與澎湖層下部地層的主要組成岩石。

凝灰岩海蝕平臺上常見圓形或近乎圓形的低平火山口，例如湖西鄉牛母件嶼(圖19)、白沙鎮海及西嶼東臺古堡(圖20)。



圖 19. 湖西牛母件嶼海蝕平臺上的低平火口。



圖 20. 澎湖西嶼東臺古堡海蝕平臺上的低平火口，為凝灰岩火山筒型火口，具放射狀裂隙節理。

由通梁經著名的跨海大橋可抵小門嶼鯨魚洞及學仔尾。從鯨魚洞—大池—小池—池西—池東—大菓葉之西嶼半島(舊稱漁翁島)，出露澎湖漁翁島層之標準露頭，沿岸海崖玄武岩柱狀節理十分發達。

東臺古堡附近海蝕平臺為一圓形淺窪地，四周岩石由凝灰岩組成，具有放射狀之裂隙節理，為一典型的凝灰火山筒火口(圖20)。凝灰岩海蝕平臺上出露之火山口，其大小、數量與結構不一。池西瓜皮式火山頸露頭處之海蝕平臺上有一大型窪穴及無數的小窪洞；大池附近則為具有環形結構之火山口(圖21)；大菓葉所見者除有環狀環外，亦具有放射狀裂隙節理(圖22)。



圖 21. 西嶼大池海蝕平臺上的環形小火口。



圖 22. 西嶼大菓葉海蝕平臺上的低平火口。

大池—池西—學仔尾主要出露矽質玄武岩，除柱狀節理發育外，還有多處小火山口或低平火山口，尤以學仔尾為最。據推測學仔尾海蝕平臺原為一龐大的低平火山口之熔岩湖所構成。大的低平火山口熔岩池內散布著許多小的低平火山口或噴氣口及受海浪沖蝕所衍生的潮池或壺穴等小地形。

澎湖學仔尾海蝕平臺空拍圖上常見有圓圈噴氣口，為由熱的岩漿和冷的地下水作用爆發形成的低平火口，是澎湖瑪珥火山的典型代表區域之一。其岩漿與液氣作用所表現的低平火口地形表露無遺，其種類與式樣之多，堪稱國內外罕見(圖 23)。



圖 23. 澎湖學仔尾海蝕平臺布滿由熔岩湖噴氣口所衍生之壺穴。

上升岩漿接觸地下水，導致岩漿與水混合而爆炸，形成火山基浪堆積。高達攝氏二、三百度高溫的火山灰與水氣作用，有如煎熬的麥芽糖，氣泡冒出而形成大大小小的坑洞，再經風化、海水侵蝕而成今日之壺穴狀構造(圖 23)。噴氣坑之凝灰岩環狀構造亦具有如火山岩管的放射狀裂隙節理(圖 24)。值得注意的是噴氣口亦具有同心圓環狀反應圈(圖 25)。



圖 24. 澎湖學仔尾小火山口垣或噴氣碟所形成之潮池或壺穴構造，已有放射狀裂隙節理發育。



圖 25. 澎湖學仔尾熔岩湖所形成之低平火山口。

熔岩湖熔岩經長期風化侵蝕作用，地下之火山筒構造有可能顯露出來。鄰近桶盤嶼之海蝕平臺就有熔岩湖之蓮花座穹狀火山口與放射狀柱狀節理的火山筒

出現。基本上，澎湖熔岩湖火口、火口垣、火山筒火口與火山頸火口，基本組成材料就是含水量少的熔岩。

火山通道又稱火山管、火山筒，是指火山活動時，將岩漿源與地表連接起來的垂直或近於垂直的管狀通道。桶盤嶼東北岸海蝕平臺與尖山海蝕平臺可見由具柱狀節理石柱圍著的凹洞，中心呈水平放射排列，襯托出火山筒型火山口（圖 26、27）。而火山活動地區，通常以火口為中心，地殼向上隆起形成穹丘構造。火山筒火口也不例外，如金嶼，放射柱狀節理石柱圍繞著一圓形凹洞小火口，形若半撐開雨傘骨架中心，即凸起正地形之火山筒型火口地貌（圖 28），為一難得之地質景觀。



圖 26. 桶盤嶼東北岸海蝕平臺由具柱狀節理玄武岩石柱水平排列所襯托出的火山筒型火山口。



圖 27. 澎湖尖山海蝕平臺由具柱狀節理玄武岩石柱水平排列所襯托出的火山筒型火山口。



圖 28. 金嶼玄武岩輻射柱狀節理圍繞所形成之正地形火山筒型火山口。

鳥嶼是澎湖小火口典型的代表之一，由動力飛行傘空拍照片可一覽無遺。海蝕平臺上可見有二、三個凹洞，代表古火山筒構造之小火口。凹洞上方有一呈羽毛梗鱗次櫛比之羽狀構造，為古岩漿通道的火山頸構造。所謂火山筒型火口是指仿如一直立的水管，每一段橫斷切面，都有一以圓形凹洞為中心向四方放射排列之石柱堆疊而成之管道而形成圓柱狀火山體（圖 29）。若流通管道中的熔岩凝固回縮，即形成漩渦窪洞的小火口穴（圖 30）。



圖 29. 鳥嶼低平火山口具輻射狀柱狀節理。



圖 30. 鳥嶼低平火山筒形火山口，中心呈漩渦窪洞下凹之負地形。

當熔岩湖岩漿流經含水地層或沼澤地區，岩漿的水氣含量大增，熔岩的熱，使水份汽化。汽化體積膨脹為吸熱反應。吸熱降低了熔岩流的溫度，也降低了熔岩的通動性，此時繩狀熔岩因內部凝固解壓所釋出的氣體會浮出表面造成多孔狀的表面構造。同時熔岩湖的火口也就逐步邁向有如噴氣現象殘留的桶盤嶼西南岸八卦形蓮花座穹狀低平火山口。同樣的，此熔岩湖型火山口亦可依中心點隆起正地形、平面與下凹負地形的低平火口，但不論如何，這些都可歸類於溢流式噴發。當熔岩與地下水接觸，導致水氣或岩漿水氣爆發乃形成爆發性火山噴發，而形成環形牆與後緣地區裂隙，產生如岩漿之侵入形成穹狀火山筒之構造。

澎湖瑪珥火山之研究包括熔岩、凝灰岩岩漿水氣火山噴發作用，由環形牆、火山筒之探討，而畫分成學仔尾熔岩式與乳仔尖山凝灰岩式二大類型。而澎湖北海鳥嶼—南面掛嶼東側海灣、中衛灣、青灣、西嶼東岸二崁大菓葉灣、赤馬灣、牛心灣及西嶼西岸內垵北港可能就是古瑪珥湖之所在。綜合研究結果，澎湖火山口地形可分為熔岩湖、火口環、熔岩與凝灰岩火山筒、火山頸與瑪珥火山等類型。

參考文獻

- 莊文星，2010。臺灣泥火山小地形。國立自然科學博物館館訊第 268 期。
- 莊文星、陳汝勤、林長興、洪清林，2009。澎湖多樣性低平火山口分類與成因研究。經濟部中央地質調查所彙刊，22：169-199。

相關網站：<http://digimuse.nmns.edu.tw/taiwanlandform/>（臺灣地貌—多面向臺灣火山地質地形自然景觀數位典藏資料庫拓展）