

國立臺灣師範大學地球科學研究所碩士論文

指導教授：劉德慶博士

方建能博士

玫瑰石的礦物學研究

A Mineralogical Study of the
Manganese-rich Rocks

研究生：陳沅甫

中華民國 104 年 6 月

摘要

玫瑰石為台灣花東重要寶石之一，近年來由於市面上出現中國及其他國家之類玫瑰石，企圖混淆消費者，以取代台灣產玫瑰石，單憑外觀判別無法區別其產地來源，所以常造成區分上的困難。

本研究主要針對台灣、中國、巴西三個地區，利用拉曼光譜儀、能量散射光譜儀進行物理性質、礦物相及化學成分的分析，並探討各產地玫瑰石之組成礦物、化學成分之異同。

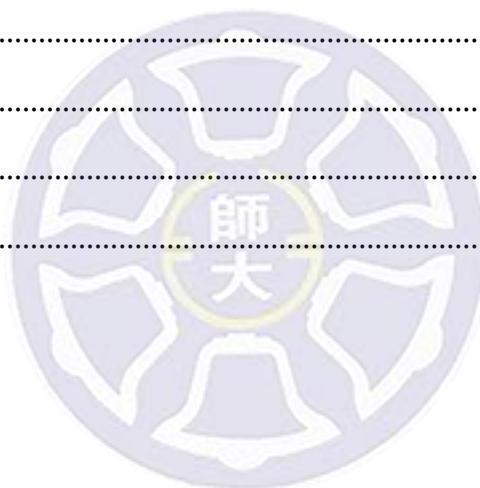
本研究利用孟賽爾色序系統將標本依色系分類，利用 X 光粉末繞射儀及拉曼光譜儀分析出，共有二十一種礦物相，主要為含錳矽酸鹽類礦物，並根據孟賽爾色序系統之色系，將各產地礦物相依出現頻率多寡排名，發現在各產地之 R 色系中，皆以薔薇輝石出現次數最多。另以能量散射光譜儀及 X 光螢光分析儀，針對各產地薔薇輝石分析，結果顯示薔薇輝石成分以錳、鈣、鎂、鐵為主，且在薔薇輝石中，顏色越深，錳含量越高；台灣之薔薇輝石的錳含量高於 75%、鈣鎂鐵含量低於 10% 以下，中國及巴西鈣、鎂、鐵之含量都高於 10%，可以明顯與台灣作出區別。比重部份則以台灣玫瑰石之平均比重最低，推測因台灣玫瑰石含較多石英及薔薇輝石，故導致平均比重較低；中國玫瑰石之平均比重為最高，推估因含錳鋁榴石較高所造成。

關鍵字：玫瑰石、薔薇輝石、拉曼光譜儀、台灣

目錄

摘要.....	I
目錄.....	II
圖目錄.....	IV
表目錄.....	VII
第一章 緒論.....	1
1-1 前言.....	1
1-1-1 玫瑰石的定義.....	1
1-1-2 台灣玫瑰石的地質產狀與分布.....	2
1-2 地質背景.....	3
1-3 前人研究.....	4
1-4 研究動機與目的.....	5
第二章 研究方法.....	7
2-1 標本收集.....	7
2-2 標本處理及實驗流程.....	15
2-3 儀器分析.....	16
2-3-1 電子秤.....	16
2-3-2 偏光顯微鏡.....	17
2-3-3 X 光粉末繞射儀.....	17
2-3-4 拉曼光譜儀.....	18
2-3-5 掃描式電子顯微鏡及能量分散式光譜儀.....	19
2-3-6 X 光螢光分析儀.....	20
第三章 結果與討論.....	21
3-1 岩相學觀察.....	21
3-1-1 孟賽爾色序系統.....	21
3-1-2 肉眼觀察.....	22
3-1-3 顯微鏡觀察.....	23

3-2	X 光粉末繞射儀分析結果.....	25
3-3	拉曼光譜分析.....	26
3-3-1	拉曼分析結果.....	27
3-3-2	各產地礦物相分布.....	77
3-4	能量散射光譜儀分析.....	83
3-4-1	各產地薔薇輝石之化學成分分析結果.....	83
3-4-2	各產地薔薇輝石之化學成分比較.....	89
3-5	X 光螢光分析結果.....	92
3-6	比重分析結果.....	97
第四章	結論.....	99
	致謝.....	100
	參考文獻.....	101
	附錄一.....	104
	附錄二.....	105



圖目錄

圖 1-1	台灣玫瑰石露頭分佈地點	2
圖 1-2	台灣花東地區玫瑰石	6
圖 1-3	台灣玫瑰石切片畫作	6
圖 2-1	中國 C-1 玫瑰石標本	7
圖 2-2	中國 C-2 玫瑰石標本	7
圖 2-3	中國 C-3 玫瑰石標本	8
圖 2-4	中國 C-4 玫瑰石標本	8
圖 2-5	中國 C-5 玫瑰石標本	8
圖 2-6	中國 C-6 玫瑰石標本	9
圖 2-7	中國 C-7 玫瑰石標本	9
圖 2-8	中國 C-8 玫瑰石標本	9
圖 2-9	中國 C-9 玫瑰石標本	10
圖 2-10	中國 C-10 玫瑰石標本	10
圖 2-11	台灣 T-1 玫瑰石標本	10
圖 2-12	台灣 T-2 玫瑰石標本	11
圖 2-13	台灣 T-3 玫瑰石標本	11
圖 2-14	台灣 T-4 玫瑰石標本	11
圖 2-15	台灣 T-5 玫瑰石標本	12
圖 2-16	台灣 T-6 玫瑰石標本	12
圖 2-17	台灣 T-7 玫瑰石標本	12
圖 2-18	台灣 T-8 玫瑰石標本	13
圖 2-19	台灣 T-9 玫瑰石標本	13
圖 2-20	台灣 T-10 玫瑰石標本	13
圖 2-21	巴西 B-1 玫瑰石標本	14
圖 2-22	巴西 B-2 玫瑰石標本	14
圖 2-23	巴西 B-3 玫瑰石標本	14
圖 2-24	樣本處理及實驗流程	15
圖 2-25	電子秤	16
圖 2-26	偏光顯微鏡	17
圖 2-27	X 光粉末繞射儀	17
圖 2-28	拉曼光譜儀	18
圖 2-29	掃描式電子顯微鏡及能量分散式光譜儀	19
圖 2-30	X 光螢光分析儀	20
圖 3-1	孟賽爾色序系統示意圖	21
圖 3-2	台灣產玫瑰石，標本 T-9	22

圖 3-3	中國產玫瑰石，標本 C-2	22
圖 3-4	巴西產玫瑰石，標本 B-2	22
圖 3-5	(a)平行光下的薔薇輝石(Rdn) (b)交叉偏光薔薇輝石(Rdn).....	23
圖 3-6	(a)平行光下的菱錳礦(Rds) (b)交叉偏光下的菱錳礦(Rds).....	24
圖 3-7	(a)平行光下的錳鋁榴石(Sps) (b)交叉偏光下的錳鋁榴石(Sps)	24
圖 3-8	(a)平行光下的石英(Qtz) (b)交叉偏光下的石英(Qtz)	24
圖 3-9	(a)平行光下的陽起石(Act) (b)交叉偏光下的陽起石(Act)	25
圖 3-10	(a)平行光下的磁鐵礦(Mag) (b)交叉偏光下的磁鐵礦(Mag)	25
圖 3-11	估算不規則面積以樣本 C-1 為例.....	26
圖 3-12	含錳礦物之拉曼特徵峰	28
圖 3-13	含錳礦物之拉曼光譜圖	28
圖 3-14	非含錳礦物之拉曼特徵峰	29
圖 3-15	非含錳礦物之拉曼光譜圖(1).....	30
圖 3-16	非含錳礦物之拉曼光譜圖(2).....	30
圖 3-17	T-1 拉曼光譜分析位置	31
圖 3-18	T-1 拉曼光譜圖	32
圖 3-19	T-2 拉曼光譜分析位置	33
圖 3-20	T-2 拉曼光譜圖	34
圖 3-21	T-3 拉曼光譜分析位置	35
圖 3-22	T-3 拉曼光譜圖	36
圖 3-23	T-4 拉曼光譜分析位置	37
圖 3-24	T-4 拉曼光譜圖	38
圖 3-25	T-5 拉曼光譜分析位置	39
圖 3-26	T-5 拉曼光譜圖	40
圖 3-27	T-6 拉曼光譜分析位置	41
圖 3-28	T-6 拉曼光譜圖	42
圖 3-29	T-7 拉曼光譜分析位置	43
圖 3-30	T-7 拉曼光譜圖	44
圖 3-31	T-8 拉曼光譜分析位置	45
圖 3-32	T-8 拉曼光譜圖	46
圖 3-33	T-9 拉曼光譜分析位置	47
圖 3-34	T-9 拉曼光譜圖	48
圖 3-35	T-10 拉曼光譜分析位置	49
圖 3-36	T-10 拉曼光譜圖	50
圖 3-37	C-1 拉曼光譜分析位置	51
圖 3-38	C-1 拉曼光譜圖	52
圖 3-39	C-2 拉曼光譜分析位置	53
圖 3-40	C-2 拉曼光譜圖	54

圖 3-41	C-3 拉曼光譜分析位置	54
圖 3-42	C-3 拉曼光譜圖(1).....	56
圖 3-43	C-3 拉曼光譜圖(2).....	56
圖 3-44	C-4 拉曼光譜分析位置	57
圖 3-45	C-4 拉曼光譜圖	58
圖 3-46	C-5 拉曼光譜分析位置	59
圖 3-47	C-5 拉曼光譜圖	60
圖 3-48	C-6 拉曼光譜分析位置	61
圖 3-49	C-6 拉曼光譜圖	62
圖 3-50	C-7 拉曼光譜分析位置	63
圖 3-51	C-7 拉曼光譜圖	64
圖 3-52	C-8 拉曼光譜分析位置	65
圖 3-53	C-8 拉曼光譜圖	66
圖 3-54	C-9 拉曼光譜分析位置	67
圖 3-55	C-9 拉曼光譜圖	68
圖 3-56	C-10 拉曼光譜分析位置	69
圖 3-57	C-10 拉曼光譜圖	70
圖 3-58	B-1 拉曼光譜分析位置	71
圖 3-59	B-1 拉曼光譜圖	72
圖 3-60	B-2 拉曼光譜分析位置	73
圖 3-61	B-2 拉曼光譜圖	74
圖 3-62	B-3 拉曼光譜分析位置	75
圖 3-63	B-3 拉曼光譜圖	76
圖 3-64	本研究標本礦物相出現之機率	77
圖 3-65	台灣產玫瑰石礦物相出現之機率	78
圖 3-66	中國產玫瑰石礦物相出現之機率	79
圖 3-67	巴西產玫瑰石礦物相出現之機率	79
圖 3-68	台灣產地之薔薇輝石化學成分圖	90
圖 3-69	中國產地之薔薇輝石化學成分圖	90
圖 3-70	巴西產地之薔薇輝石化學成分圖	90
圖 3-71	三個產地與前人研究之薔薇輝石化學成分比較圖(1).....	91
圖 3-72	三個產地與前人研究之薔薇輝石化學成分比較圖(2).....	91
圖 3-73	C-4 標本掃描結果	93
圖 3-74	T-2 標本掃描結果	94
圖 3-75	T-9 標本掃描結果	96
圖 3-76	B-2 標本掃描結果	97

表目錄

表 3-1	X 光粉末繞射儀分析結果.....	26
表 3-2	樣本 C-1 各色系所佔面積.....	27
表 3-3	T-1 拉曼光譜分析結果.....	31
表 3-4	T-2 拉曼光譜分析結果.....	33
表 3-5	T-3 拉曼光譜分析結果.....	35
表 3-6	T-4 拉曼光譜分析結果.....	37
表 3-7	T-5 拉曼光譜分析結果.....	39
表 3-8	T-6 拉曼光譜分析結果.....	41
表 3-9	T-7 拉曼光譜分析結果.....	43
表 3-10	T-8 拉曼光譜分析結果.....	45
表 3-11	T-9 拉曼光譜分析結果.....	47
表 3-12	T-10 拉曼光譜分析結果.....	49
表 3-13	C-1 拉曼光譜分析結果.....	51
表 3-14	C-2 拉曼光譜分析結果.....	53
表 3-15	C-3 拉曼光譜分析結果.....	55
表 3-16	C-4 拉曼光譜分析結果.....	57
表 3-17	C-5 拉曼光譜分析結果.....	59
表 3-18	C-6 拉曼光譜分析結果.....	61
表 3-19	C-7 拉曼光譜分析結果.....	63
表 3-20	C-8 拉曼光譜分析結果.....	65
表 3-21	C-9 拉曼光譜分析結果.....	67
表 3-22	C-10 拉曼光譜分析結果.....	69
表 3-23	B-1 拉曼光譜分析結果.....	71
表 3-24	B-2 拉曼光譜分析結果.....	73
表 3-25	B-3 拉曼光譜分析結果.....	75
表 3-26	台灣樣本各色系礦物相之排名.....	80
表 3-27	中國樣本各色系礦物相之排名.....	80
表 3-28	巴西樣本各色系礦物相之排名.....	81
表 3-29	本研究與前人研究礦物相之比較.....	82
表 3-30	T-4 之薔薇輝石所含礦物化學成分與陽離子數.....	83
表 3-31	T-7 之薔薇輝石所含礦物化學成分與陽離子數.....	84
表 3-32	T-8 之薔薇輝石所含礦物化學成分與陽離子數.....	84
表 3-33	T-9 之薔薇輝石所含礦物化學成分與陽離子數.....	85
表 3-34	C-4 之薔薇輝石所含礦物化學成分與陽離子數.....	85
表 3-35	C-7 之薔薇輝石所含礦物化學成分與陽離子數.....	86

表 3-36	C-8 之薔薇輝石所含礦物化學成分與陽離子數.....	86
表 3-37	C-10 之薔薇輝石所含礦物化學成分與陽離子數.....	87
表 3-38	B-1 之薔薇輝石所含礦物化學成分與陽離子數.....	87
表 3-39	B-2 之薔薇輝石所含礦物化學成分與陽離子數.....	88
表 3-40	本研究出現之礦物比重	98
表 3-41	三個產地之比重分析結果.....	98



第一章 緒論

1-1 前言

台灣位處於西太平洋上，東部的花東縱谷位於歐亞板塊與菲律賓海板塊碰撞帶上，由於兩板塊激烈擠壓產生多次的地質作用，使得年輕的台灣地質，卻有著極高的變質程度。台灣東部的花蓮至台東一帶，最為顯著，該處為兩板塊的縫合帶，縫合帶上的地層受到擠壓變質之後，在短短的千萬年內，把海底沉積物和海洋地殼抬升至海平面之上，同時間之風化侵蝕作用也持續進行中。原來的岩石也因為受到擠壓發生變質作用，出現了蛇紋岩、閃玉、玫瑰石等礦床，使得台灣東部有著「地質天堂」之美譽，也成為國內外地質學者必到之處。

其中，又因台灣玫瑰石的色彩艷麗，並具國畫般墨韻之美，而顯得格外亮眼，也成為許多收藏家費心尋找的標的。

1-1-1 玫瑰石的定義

早期文獻稱玫瑰石即為薔薇輝石，但薔薇輝石只是玫瑰石中所包含的其中一種礦物。玫瑰石一名只是俗稱，既不是岩石名稱也不是單一礦物相，而是多種含錳礦物的集合體。地質學家稱其為”富錳岩石(Manganese-rich rocks)”或以薔薇輝石(Rhodonite)為主要礦物的”薔薇輝石岩”(方建能、余炳盛，2007)。玫瑰石除了具有薔薇輝石的成分外，另外亦含有菱錳礦(Rhodochrosite)、錳鋁榴石(Spessartine)、錳輝石(Pyroxmangite)、軟錳礦(Pyrolusite)、黑錳礦(Hausmannite)、方解石(Calcite)、綠泥石(Chlorite)、綠簾石(Epidote)、石英(Quartz)及石棉(Asbestos)等礦物(郭奇龍等，1995；方建能，1998；方建能、余炳盛，2007；翁林廷彬，2009)。在收藏家的眼中，將玫瑰石視為珍寶，其獨一無二的紋路、鮮豔的色彩、加上政策，促成物以稀為貴，讓玫瑰石在經濟地質上佔有一席之地。

綜合前人的研究，可知每個人對於玫瑰石所含的礦物種類描述，不完全相同，

但大致來說，都是以富錳礦物為主，因此本文的定義為以富錳礦物為主要組成的多種礦物集合體，即稱為玫瑰石。

1-1-2 台灣玫瑰石的地質產狀與分布

台灣的玫瑰石產於台灣東部最古老的岩層-大南澳片岩的長春層中，長春層以綠色片岩、變質基性岩、石英片岩(變質燧石)及少量硬綠泥石岩、變質富錳岩石為主 (王執明，1991)，地質年代界於古生代晚期至中生代之間。玫瑰石主要和片狀變質燧石 (Schistose metachert)、大理岩及綠色岩石(包括綠泥石片岩、變質基性岩和角閃岩)等變質岩互層，主要以凸鏡狀或囊狀出現在其他的岩層中(魏稽生、譚立平，1999；方建能、余炳盛，2007)。

綜合前人研究，玫瑰石的露頭分布(如圖 1-1)，在三棧溪上游、瑞穗的中央山脈山區，立霧溪上游的立霧主山、綠水及洛韶、和平溪上游二子山、木瓜溪上游的奇萊山，中橫公路天祥及文山溫泉附近，金馬隧道北方的加卑里山附近，以及東澳西帽山等地(顏滄波，1959；林朝榮、周瑞燉，1978；郭奇龍，1995；郭奇龍等，1995；方建能，1998；方建能、余炳盛，2007；翁林廷彬，2009；曾泰源，2009；陳德進，2009)。

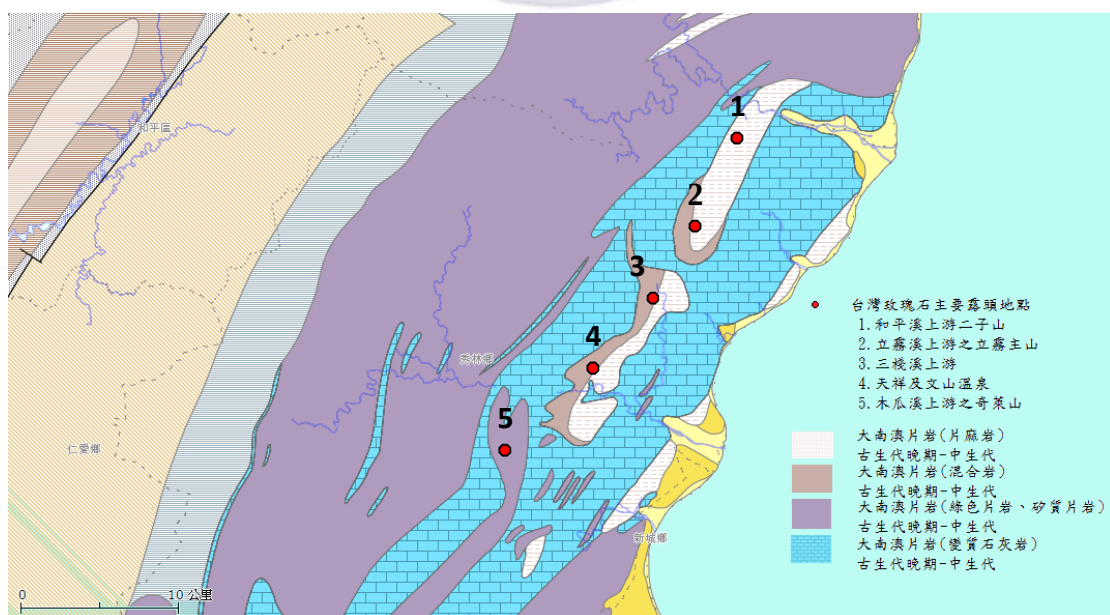


圖 1-1 台灣玫瑰石露頭分佈地點(陳肇夏，2001)

上述露頭因為大多身處深山、交通不便，除了東澳西帽山以外，都未有明確的標示地點(方建能，1998)。玫瑰石的滾石則在上述露頭的下游河流中，如三棧溪、立霧溪、木瓜溪、砂卡噹溪及和平溪等河谷中都有零星分佈，其中三棧溪更因常發現玫瑰石滾石，而有『玫瑰溪』之美譽(方建能、余炳盛，2007)。

台灣的玫瑰石產出可以分為山礦、溪礦、及海礦；山礦是指產於岩層中的原生礦，溪礦為山礦經過風化碎裂後，沖刷至河中的石塊，海礦為溪礦經河水沖到海中，藉由潛水撈取而得；溪礦及海礦因經過河水及其它岩石的長久沖刷、淘洗、及摩擦，外表較為渾圓光滑，品質亦較為優異(翁林廷彬，2009)。

1-2 開採歷史背景

台灣玫瑰石的發現最早可推至 1931 年，當時日本總督府礦物課技師小笠原美津雄在東澳附近做地質調查，發現富錳岩石的分布(小笠原美津雄，1935)，隔年又發現了西帽山礦床，於是積極開採且將其中錳含量 35% 以上之硬錳礦石運回日本提煉，但由於含錳品位不高，加上提煉錳的技術無法突破，所以當時認為沒有經濟價值，這些富錳岩石漸被人遺忘。

1976 年間，曾有人申請花蓮立霧主山東方設定錳礦採礦權，因位於深山且交通不便，試探後均未開採。嗣後太魯閣國家公園成立，登計之礦區均位處國家公園之生態區或一般管制區(郭奇龍等，1995)，因此無法開採。

直至 1980 年代，玫瑰石在偶然的機會下，被加工做為雅石觀賞、販賣，甚受愛石人士喜愛，掀起一陣蒐藏與流行風潮，至今依然甚受歡迎。早期玫瑰石的產量相當驚人，但是隨著蒐藏人口逐年增加，可以採到的玫瑰石越來越少，以往在颱風過後，偶爾可以在河床撿到玫瑰石滾石，但現在幾乎已經被採集殆盡了，唯獨在國家公園的管制區內，還可以見到玫瑰石的露頭。

1-3 前人研究

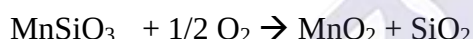
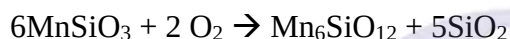
有關玫瑰石的正式學術研究報告，最早可追溯至日籍礦物學家岡本要八郎，於 1912 年於《臺灣博物學會會報》中發表之「新産の薔薇輝石と光線石」，文中提到曾在該年於台灣東部第一次發現了桃紅色的薔薇輝石(岡本要八郎，1912)。1931 年，服部武彦和國府健次也發表了「臺北州蘇澳郡東澳産薔薇輝石に就いて」，文中第一次針對台灣的薔薇輝石做了成分分析，也是所有文獻中最早做詳細化學分析的文章(服部武彦、國府健次，1932)。

而近代的玫瑰石研究，有專家學者如譚立平教授於 1992 年出版的《寶石學》的「薔薇輝石」、「菱錳礦」，對這二種礦物做簡介，如硬度、化學成分、比重等(譚立平，1992)。台灣省礦務局郭奇龍、鄭永生、林錦村等三人，於 1995 年發表在《台灣礦業》的研究報告「臺灣東部薔薇輝石之調查與開發評估」(郭奇龍等，1995b)，在近代研究中最為詳細，文中除了針對玫瑰石的主要組成礦物做了詳細的檢測外，也實際調查了部分玫瑰石礦床的露頭，並針對岩石的成因做了推論，也對其加工作業和市場產銷現況做詳細的調查，提出分級方式，最後針對其開發的可行性做評估，並提出建議和辦法。郭奇龍先生於 1995 年發表在《台灣博物》的「華麗多姿的玫瑰石」(郭奇龍，1995a)，對玫瑰石介紹，包含其歷史、組成和加工方式等。方建能先生於 1998 出版的《台灣玫瑰石特展專輯—施勝郎先生典藏珍品》，敘述玫瑰石礦物組成、地質背景、礦床分布、用途和市場分類等，並和民間收藏家合作，展出了大量的玫瑰石珍品(方建能，1998)。余炳盛等於 1999 年出版的《花東礦物岩石圖鑑》也提到「薔薇輝石」，對其基本性質做了介紹(余炳盛，1999)。方建能和余炳盛於 2007 年《台灣博物季刊》發表的「石中有畫畫中有石-話說玫瑰石」(方建能、余炳盛，2007)，也對玫瑰石的礦物組成、地質產狀和分布、開採背景、玫瑰石的加工和價值等做了詳細的說明。翁林廷彬教授於

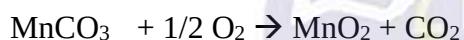
2009 年發表於《洄瀾石韻》的「玫瑰石之礦物組成及產狀」，詳細說明玫瑰石的礦物組成和產狀(翁林廷彬，2009)。

關於台灣玫瑰石的形成，主要成因為富錳深海沉積物經古生代晚期造山運動「角閃岩相」區域變質作用而生成薔薇輝石，後再經「綠色片岩相」的退變質作用形成次生菱錳礦、石英、白雲石等礦物取代薔薇輝石(郭奇能等，1995b)，最後因地殼持續抬升及侵蝕而出露於地表，受到風化等地質作用影響，矽酸錳和碳酸錳會再經氧化而生成黑色氧化錳之薄層，以下以薔薇輝石及菱錳礦為例，說明含錳礦物之氧化作用過程(方建能，2012)：

(1) 薔薇輝石 (MnSiO_3) 氧化成為褐錳礦 ($\text{Mn}_6\text{SiO}_{12}$) 及石英 (SiO_2) 或軟錳礦 (MnO_2) 及石英



(2) 菱錳礦 (MnCO_3) 氧化成為軟錳礦



而這些富錳沉積物來源的說法可分為三大類(方建能，2012)：(1)熱液作用：因海底火山活動產生的熱水溶液與海水混合後，造成金屬元素沉澱形成。(2)水成作用：海水中的溶解物質因發生過飽和現象，而沉澱出金屬元素富集所造成。(3)成岩作用：由於沉積物中金屬元素發生遷移，而在海水與海洋地殼沉積物的界面上造成。

1-4 研究動機與目的

台灣東部地區礦產豐富，除大理岩、蛇紋岩名聞遐邇外，尚有藍玉髓、玫瑰石極富盛名，為風雅人士收藏之最愛(郭奇龍等，1995)。玫瑰石非常的特別，不論是整顆原石經過拋光後直接觀賞(圖 1-2)，或是切片後表框，作為畫作欣賞(圖 1-3)，都非常華麗多姿、精彩動人，在台灣有其一定的市場與價格，由早期低經濟價值提煉錳礦用的礦石，成為現今收藏家爭相收藏的珍品(方建能，1998)。其

中玫瑰石中的主要礦物—薔薇輝石被視為礦業法第二條所稱之寶石種類，目前為止仍未有核准之礦區，市面上之藝品店展售價格亦相當不菲，且因收藏者甚多，在原石稀少，珍品難得的情況下，很多人到河床撿轉石，甚至利用手提機具，違法盜採(郭奇龍等，1995)。隨著大量的市場需求下，可以用人力撿拾、搬運的原石也越來越少，但是收藏、欣賞的人仍然為數眾多，造成台灣本地所產的玫瑰石供不應求。因此，有些業者從中國或其他國家引進類似玫瑰石，企圖混淆台灣的消費者。雖然目前有許多業者聲稱，可以靠著肉眼分辨出台灣與外國的差別，但是大多只是依靠外觀的顏色變化，並沒有一定的規範。

本研究從收集玫瑰石的樣本開始，並分別使用各類儀器進行分析，探討其相關礦物學性質，希望藉由本研究能對台灣、中國大陸和巴西玫瑰石的性質做更進一步的了解，並以非破壞性檢測的方式來區別非台灣產地之玫瑰石。



圖 1-2 台灣花東地區玫瑰石

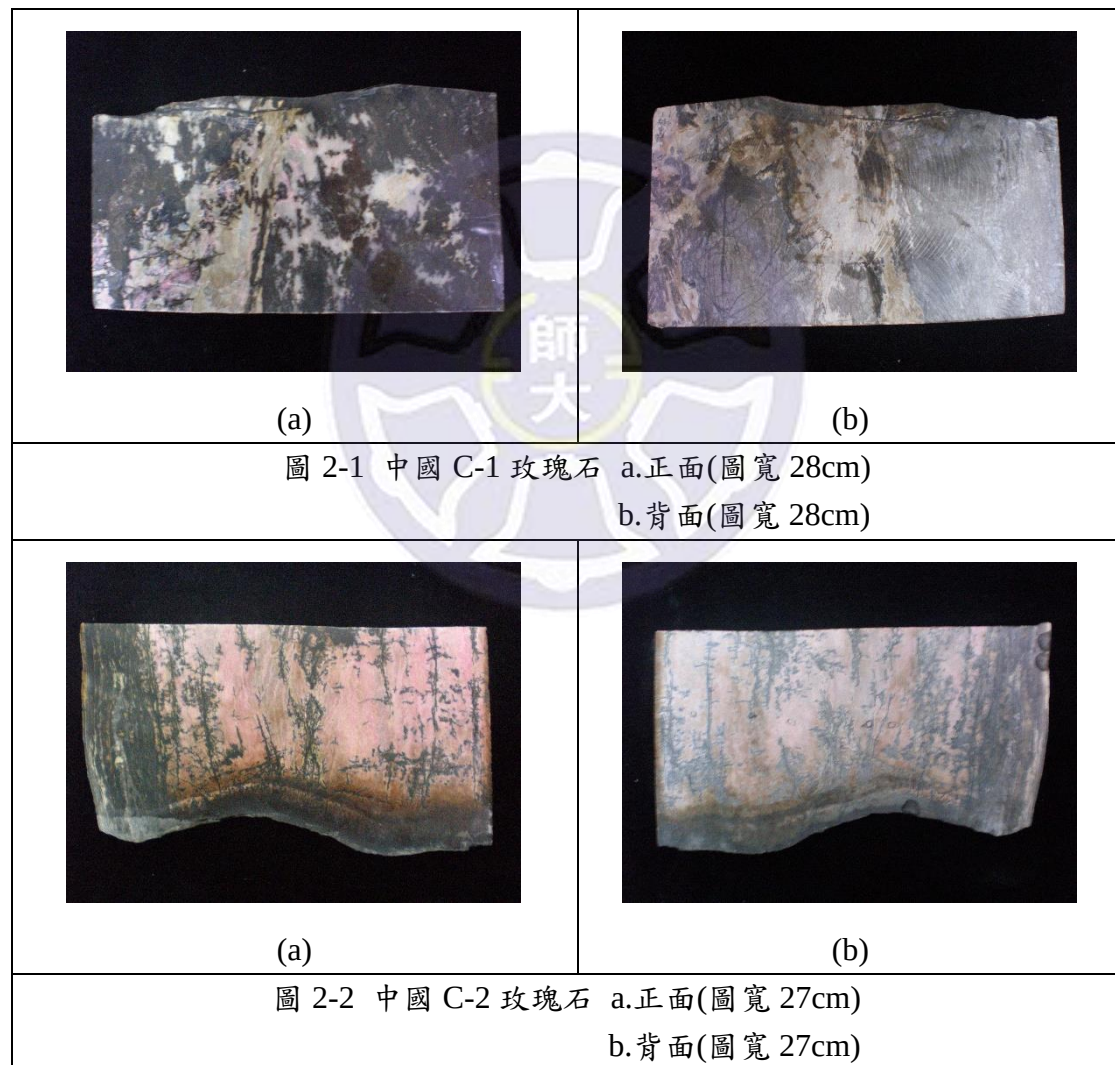


圖 1-3 台灣玫瑰石切片畫作

第二章 研究方法

2-1 標本收集

本研究之玫瑰石標本共有 23 個，標號 C1~C10 產地為中國的標本(如圖 2-1~2-10)，T-1~T-10(如圖 2-11~2-20)為台灣本地的標本，編號 B-1~B-3(如圖 2-21~2-23)為巴西的標本。





(a)



(b)

圖 2-3 中國 C-3 玫瑰石 a.正面(圖寬 20cm)
b.背面(圖寬 20cm)



(a)

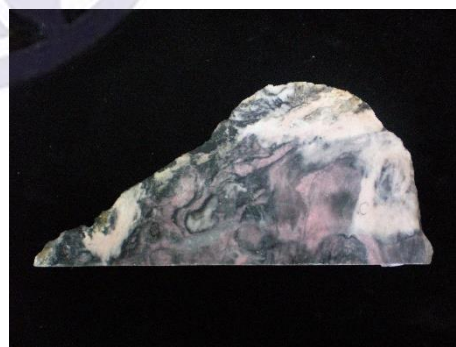


(b)

圖 2-4 中國 C-4 玫瑰石 a.正面(圖寬 25 cm)
b.背面(圖寬 25 cm)

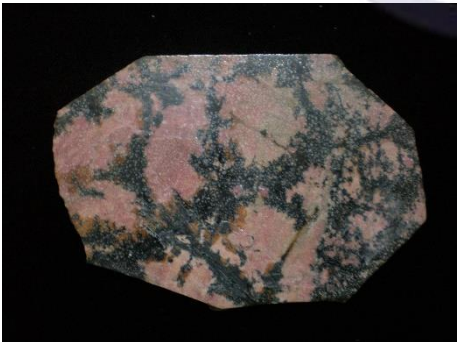


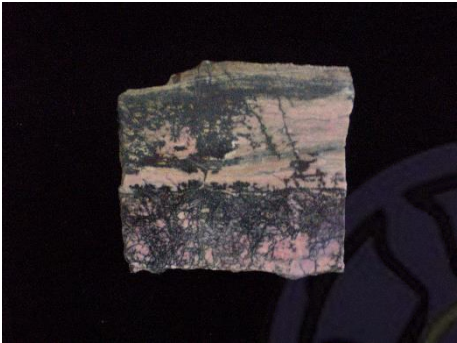
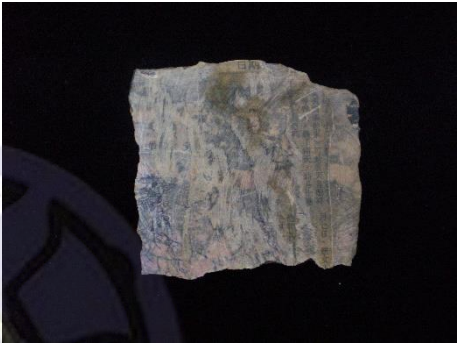
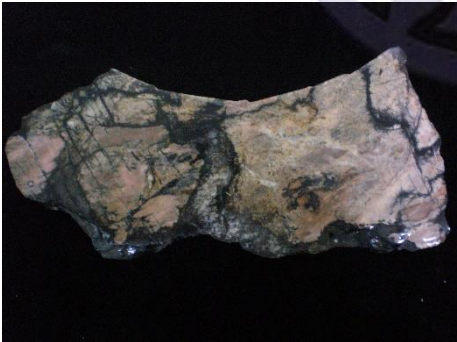
(a)

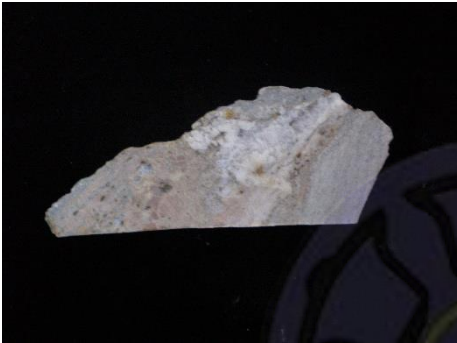


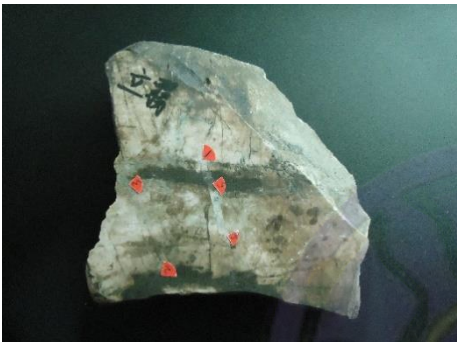
(b)

圖 2-5 中國 C-5 玫瑰石 a.正面(圖寬 20 cm)
b.背面(圖寬 20 cm)

	
(a)	(b)
圖 2-6 中國 C-6 玫瑰石 a.正面(圖寬 16 cm) b.背面(圖寬 16 cm)	
	
(a)	(b)
圖 2-7 中國 C-7 玫瑰石 a.正面(圖寬 14 cm) b.背面(圖寬 14 cm)	
	
(a)	(b)
圖 2-8 中國 C-8 玫瑰石 a.正面(圖寬 10 cm) b.背面(圖寬 10 cm)	

 (a)	 (b)
圖 2-9 中國 C-9 玫瑰石 a.正面(圖寬 15 cm) b.背面(圖寬 15 cm)	
 (a)	 (b)
圖 2-10 中國 C-10 玫瑰石 a.正面(圖寬 14 cm) b.背面(圖寬 14 cm)	
 (a)	 (b)
圖 2-11 台灣 T-1 玫瑰石 a.正面(圖寬 24 cm) b.背面(圖寬 24 cm)	

 (a)	 (b)
圖 2-12 台灣 T-2 玫瑰石 a.正面(圖寬 16 cm) b.背面(圖寬 16 cm)	
 (a)	 (b)
圖 2-13 台灣 T-3 玫瑰石 a.正面(圖寬 10 cm) b.背面(圖寬 10 cm)	
 (a)	 (b)
圖 2-14 台灣 T-4 玫瑰石 a.正面(圖寬 9 cm) b.背面(圖寬 9 cm)	

	
(a)	(b)
圖 2-15 台灣 T-5 玫瑰石 a.正面(圖寬 9 cm) b.背面(圖寬 9 cm)	
	
(a)	(b)
圖 2-16 台灣 T-6 玫瑰石 a.正面(圖寬 12 cm) b.背面(圖寬 12 cm)	
	
(a)	(b)
圖 2-17 台灣 T-7 玫瑰石 a.正面(圖寬 10 cm) b.背面(圖寬 10 cm)	



(a)



(b)

圖 2-18 台灣 T-8 玫瑰石 a.正面(圖寬 15 cm)
b.背面(圖寬 15 cm)



(a)



(b)

圖 2-19 台灣 T-9 玫瑰石 a.正面(圖寬 16 cm)
b.背面(圖寬 16 cm)

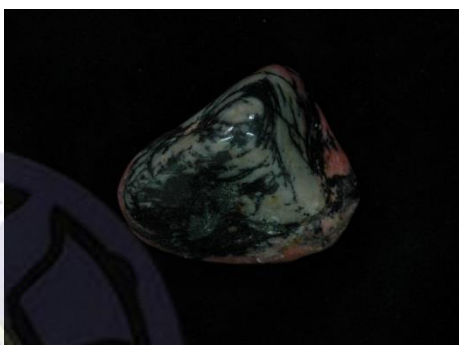


(a)



(b)

圖 2-20 台灣 T-10 玫瑰石 a.正面(圖寬 15 cm)
b.背面(圖寬 15 cm)

 (a)	 (b)
圖 2-21 巴西 B-1 玫瑰石 a.正面(圖寬 4 cm) b.背面(圖寬 4 cm)	
 (a)	 (b)
圖 2-22 巴西 B-2 玫瑰石 a.正面(圖寬 5 cm) b.背面(圖寬 5 cm)	
 (a)	 (b)
圖 2-23 巴西 B-3 玫瑰石 a.正面(圖寬 4 cm) b.背面(圖寬 4 cm)	

2-2 標本處理及實驗流程

將收集到的玫瑰石標本，依照產地編號、拍照，先以肉眼初步觀察並紀錄標本的特徵、顏色分佈(如圖 2-24)。再以岩石切割機將標本切割至適當尺寸，進一步製作成薄片、光片及粉末，標本之選擇原則上以粉紅色系之區塊為優先分析的對象。



圖 2-24 標本處理及實驗流程

1. 薄片製作

(1)使用切割機將玫瑰石切成小塊，將欲上膠的一面依序使用 600 Grit、1000 Grit 的砂紙研磨，再依序用 6 μ m、1 μ m 鑽石膏拋光，上膠後將載玻片黏上，並趕出氣泡、待乾。

(2)待膠乾後，利用切磨機將標本切磨至適當厚度(0.03mm)，再以砂紙研磨、鑽石膏拋光，以利分析及觀察。

2. 光片製作

(1)使用切割機將玫瑰石切至小於 2.5cm，放入模具中，灌入環氧樹脂至蓋

過標本，抽真空後，放置於常溫下約 8-12 小時，等待膠乾。

- (2)待膠乾後，自模具中取出標本，將分析面依序使用 600 Grit、1000 Grit 的砂紙進行研磨，直至標本露出，接著使用 P2400、P4000 的 SiC 砂紙研磨，最後使用 1 μ m 鑽石膏、0.3 μ m 氧化鋁進行拋光。

3.粉末製作

- (1)先將挑選好的玫瑰石標本，使用岩石切割機切下需要的部份。

- (2)使用鐵鎚將礦物敲碎，放入瑪瑙鉢以手工研磨至完全成為粉末，粉末粒徑大小約為 200 mesh (75 μ m) 以下。

本研究針對 23 件玫瑰石標本進行礦物相、化學成分及物理性質的鑑定分析。礦物相的部份使用偏光顯微鏡、拉曼光譜儀及 X 光粉末繞射儀進行分析及觀察，化學成分則使用 X 光螢光光譜儀及掃描式電子顯微鏡之能量分散光譜儀進行分析，並使用電子秤測量玫瑰石的比重。以下將所使用的儀器個別做介紹。

2-3 儀器分析

2-3-1 電子秤

本研究使用電子秤(圖 2-25)來量測玫瑰石之重量，以換算成比重。從中挑選出台灣和中國，各 10 件，巴西 3 件的玫瑰石標本，首先使用電子秤分別量測玫瑰石在空氣中的重量及水中的重量，各採三次數據，再取其平均值，利用比重的公式換算得到共 23 件玫瑰石標本的比重。

比重公式：比重＝（空氣中重量）／（空氣中重量－水中的重量）



圖 2-25 電子秤

2-3-2 偏光顯微鏡

為鑑定玫瑰石之礦物種類及岩象組織，本研究將台灣、中國、巴西三個產地的玫瑰石標本製成薄片，使用德國蔡司公司生產，型號為 Axioplan 7082 的透射、反射兩用偏光顯微鏡(如圖 2-26)，進行玫瑰石岩象學的觀察與鑑定。



圖 2-26 偏光顯微鏡

2-3-3 X 光粉末繞射儀

本研究使用日本 MAC 公司之 Science Mxp III 型 X 光粉末繞射儀(X-ray Power Diffractometer, XRD)(圖 2-27)，使用 Cu 靶，操作電壓為 35 kV，電流為 15mA，2 θ 範圍從 5 度~65 度，速度為 1 度/分。初步鑑定各產地玫瑰石的礦物種類，所得繞射圖譜再依據 ICDD 資料庫，比對礦物，最終分析結果與拉曼光譜儀分析的結果對照，做為二次檢驗。



圖 2-27 X 光粉末繞射儀

2-3-4 拉曼光譜儀

拉曼光譜(Raman Spectrum)與分子的振動能(vibrational energy)有關，當入射光子與分子作用後，電子會由基態躍遷到一個虛態(virtual state)，但分子不吸收該能量，隨即以散射(scattering)的方式釋放能量。此釋出能量若恰等於入射光子的能量，則此散射光稱為瑞利散射(Rayleigh scattering)；反之，若散射光的能量不等於入射光子的能量，則為拉曼散射(Raman scattering)。一般的拉曼光譜儀即偵測散射光子與入射光子的頻率差，通常稱之為 Raman shift，其對應的能量即分子的振動能。

拉曼光譜是直接量測分子結構的振動光譜，可對物質進行定性認證。物質結構的任何微小變化會明顯地反映在拉曼光譜中，因此可用來研究物質物理化學等性質隨結構的變化。另外，拉曼光譜儀也可接受粉末、薄膜、液體等樣品。

本研究主要使用拉曼光譜儀分析玫瑰石組成礦物之種類，根據 X 光繞射分析的結果，可初步得知玫瑰石中主要的礦物組成，本研究欲分析玫瑰石中不同顏色區塊的礦物，則進一步利用拉曼光譜儀針對各點，做非破壞性的礦物相分析。本研究使用法國 Horiba Jobin-Yvon 公司生產之 UV-VIS Labram HR 型拉曼光譜儀(圖 2-28)，激發光源為 532nm 氬離子綠光雷射，雷射光束直徑約 $1\mu\text{m}$ ，分析波段範圍設置為 100 至 1200 cm^{-1} ，波數誤差在 $\pm 1\text{ cm}^{-1}$ 範圍內。



圖 2-28 拉曼光譜儀

實驗操作步驟如下：

1. 以矽晶片校正，峰值為 520 cm^{-1} ，偏移位置在 $\pm 1\text{ cm}^{-1}$ 範圍內。
2. 將標本置於載台上並開啟白光光源，利用控制桿調整標本位置。
3. 調整物鏡焦距，找出清楚及平整之面。
4. 執行 LabSpec5 光譜儀軟體，設定分析波段範圍、分析秒數。
5. 以 532nm 綠光雷射光源激發標本，光束直徑為 $1\mu\text{m}$ ，測得光譜圖與經由 LabSpec 5 軟體及 RRUFF 之資料庫比對，即可得知其礦物相。

2-3-5 掃描式電子顯微鏡及能量分散式光譜儀

為得知玫瑰石中之薔薇輝石的化學成分，本研究使用中央研究院地球科學所電子微探分析儀實驗室的熱發射(鎢絲)低真空類型掃描式電子顯微鏡及附加的能量分散式光譜儀(W-LV SEM-EDS)(圖 2-29)，對礦物成分進行定性和定量分析，型號為 JSM-6360/LV，分析時使用之加速電壓為 20 千伏(kV)，電流為 0.18 奈安培(nA)，直徑約 10 微米(μm)，分析精確度為 $\pm 6\%$ 。

透過掃描式電子顯微鏡觀察玫瑰石中礦物充填及生長的情形，藉由反射式電子的影像(back-scattered electron image, BEI) 下不同元素產生的灰階色差，先區分出不同礦物，挑選薔薇輝石分析，進一步探討不同產地下之薔薇輝石化學成份的變化。



圖 2-29 掃描式電子顯微鏡及能量分散式光譜儀

本實驗操作步驟如下：

1. 首先將製備好的光片表面徹底清潔，放入偏光顯微鏡下觀察表面是否光滑，並找出要觀察的位置。
2. 將光片放入 SEM 中，抽真空至壓力低於 25 Pa，調整電壓電流至適當大小。
3. 待影像出現後，先放大畫面來對焦，接下來切換至反射式電子影像，調整亮度與對比，以 40 倍拍下欲分析的位置，再用 Photoshop 將所有照片拼接，並在圖上標記要分析的位置。
4. 選取欲分析之位置，進行成分分析。
5. 取得光譜與平均成份後，藉由元素的種類及強度，來決定為何種礦物。

2-3-6 X 光螢光分析儀

本實驗使用法國 Horiba Jobin-Yvon 公司生產的 XGT-5000 型 X 光螢光分析儀(X-ray Fluorescent Analyzer)(圖 2-30)。用來分析玫瑰石中元素的分布情況。實驗條件為電流 0.5 μA ，電壓 30 kV，掃描次數 25 次，掃描範圍為 20×20mm，X 光直徑約 10 μm 。

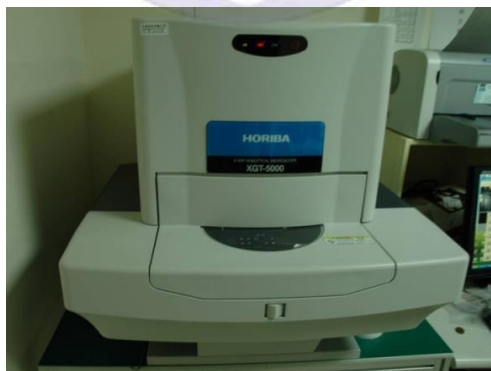


圖 2-30 X 光螢光分析儀

本實驗步驟如下：

1. 將標本放置載台，調整高度並對焦。
2. 選擇欲掃描範圍，調整長寬比、掃描元素及掃描時間/次。
3. 抽真空，開始掃描。待掃描完成後，調整元素分佈圖明暗度。

第三章 結果與討論

3-1 岩相學觀察

本研究收集的標本共 23 件，分別為台灣 10 件、中國 10 件及巴西 3 件。從不同產地中各挑選數件製作成薄片、光片，以方便肉眼觀察與各類實驗使用。首先透過肉眼初步觀察玫瑰石標本外觀的顏色分佈狀況，再利用偏光顯微鏡觀察玫瑰石礦物相。

3-1-1 孟賽爾色序系統

孟賽爾色序系統是由 Albert H. Munsell 所繪製，至目前為止仍然是最廣泛使用的色序系統。孟賽爾色序系統依顏色的明度南北上下軸劃分，從全黑(N0)至全灰(N5)到全白(N10)。彩度部分共 14 階，由淡至濃分等級(蔡佳容，2008)。色相主要以紅(R)、黃(Y)、綠(G)、藍(B)、紫(P)五種為主色調，紅黃(YR)、黃綠(GY)、綠藍(BG)、藍紫(PB)、紫紅(RP)為五種中間色，並在這十種顏色中相鄰的兩個位置間再均分成 10 份，最終共 100 種色相(圖 3-1)。在本研究的玫瑰石標本中，即採取孟賽爾色序系統作為玫瑰石顏色上的分類，以便後續的實驗研究。

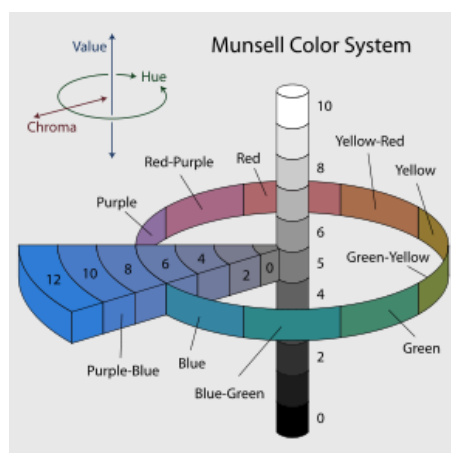


圖 3-1 孟賽爾色序系統示意圖

3-1-2 肉眼觀察

根據肉眼觀察，台灣產地的玫瑰石(如圖 3-1)顏色分布較多變化且平均、圖案也較其他兩地豐富，外觀顏色以紅、黃、黑、白為主，新鮮時呈粉紅色，常與微量石英共生，有時呈嵌晶狀，顆粒為 0.5mm~1mm(Yui et al.,1989)。中國的玫瑰石(圖 3-2) 整體而言，桃紅色佔較多，且色澤暗紅、圖案單調，白色部份所佔比例最少，外觀顏色種類與台灣大致相同。巴西產的玫瑰石(圖 3-3)則相對單調許多，以紅、黑、白三色為主，較易辨認。本研究認為中國產玫瑰石的色澤暗紅、且圖案單調是因為其主要礦物以薔薇輝石、鋁榴石為主，色澤比較暗紅且單一，不具變化，而台灣玫瑰石多為菱錳礦夾雜薔薇輝石，雖然顏色大致看來仍為玫瑰色，但其中的菱錳礦使其顏色更加多變，且略帶粉紅，反而更具特色。

整合以上結果，本研究將使用孟賽爾色序系統的兩種主色調及一種中間色，分別為紅(R)、黃(Y)、紅黃(YR)，另外再加上本人自行定義之白(W)、黑(B)兩種色相，共五種色相來分類玫瑰石顏色。



圖 3-2 台灣產玫瑰石，標本 T-9

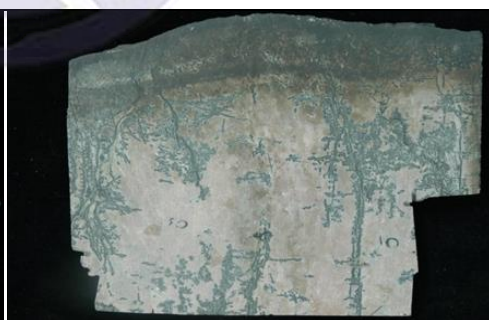


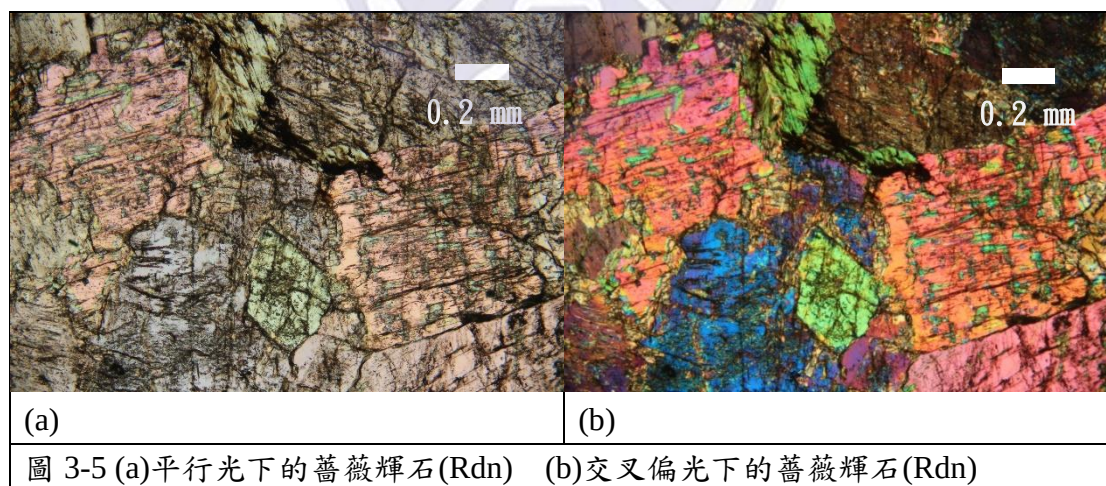
圖 3-3 中國產玫瑰石，標本 C-2

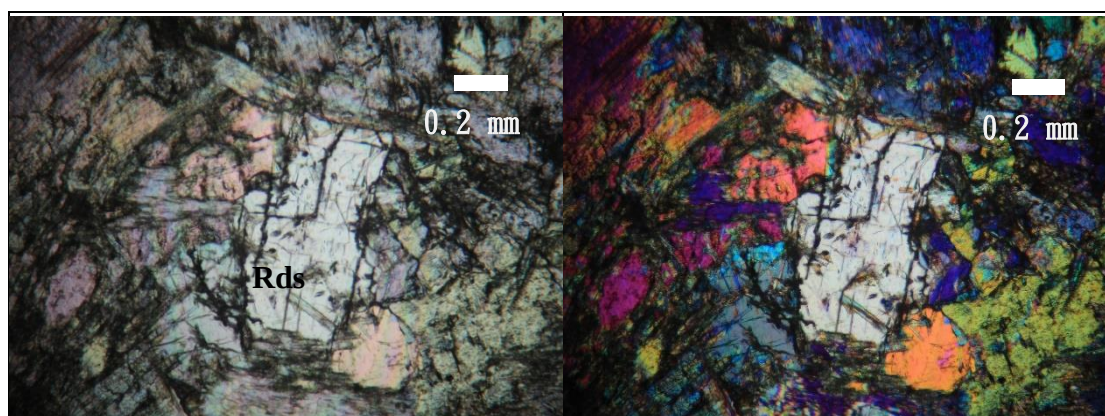


圖 3-4 巴西產玫瑰石，標本 B-2

3-1-3 顯微鏡觀察

根據偏光顯微鏡觀察，三個地區之礦物相特性並無明顯差異；台灣、中國、巴西三地的標本中較常觀察到的礦物分別為薔薇輝石、菱錳礦、錳鋁榴石、石英、陽起石、磁鐵礦。薔薇輝石在平行光下(圖 3-4(a))，多色性較弱，常呈無色或淡粉紅色(陳肇夏，1998；陳培源等人，2004)，一般為粒狀集合體，在交叉偏光下(圖 3-4-(b))干涉色高，最高干涉色為一級橙黃，消光角小於 25 度。菱錳礦在平行光下(圖 3-5(a))常呈無色，具有菱形解理。在交叉偏光下(圖 3-5(b))干涉色為白色，偶見雙晶。錳鋁榴石在平行光下(圖 3-6(a))為無色或淺黃褐色，呈粒狀，無解理。在交叉偏光下(圖 3-6(b))為全消光。石英在平行光下(圖 3-7(a))呈無色透明，他形粒狀，無解理。在交叉偏光下(圖 3-7(b))最高干涉色為一級黃白。陽起石在平行光下(圖 3-8(a))呈淡綠色，為針狀、柱狀、放射狀集合體。在交叉偏光下(圖 3-8(b))為二級干涉色。磁鐵礦在平行光下(圖 3-9(a))呈不透明，黑色，具金屬光澤。在交叉偏光下(圖 3-9(b))呈不規則粒狀集合體。

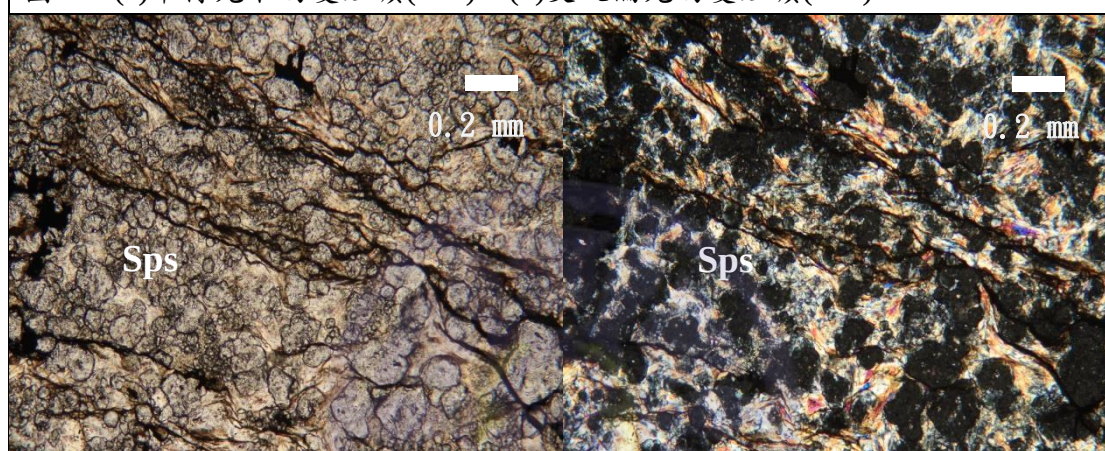




(a)

(b)

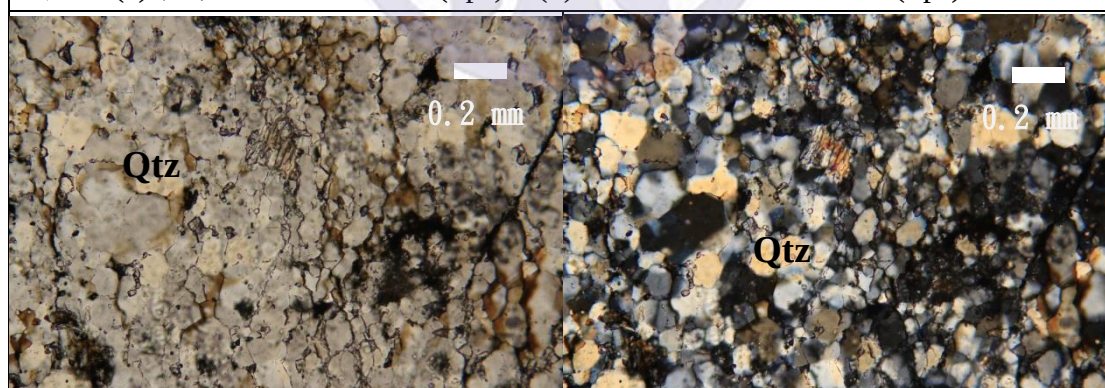
圖 3-6 (a)平行光下的菱錳礦(Rds) (b)交叉偏光的菱錳礦(Rds)



(a)

(b)

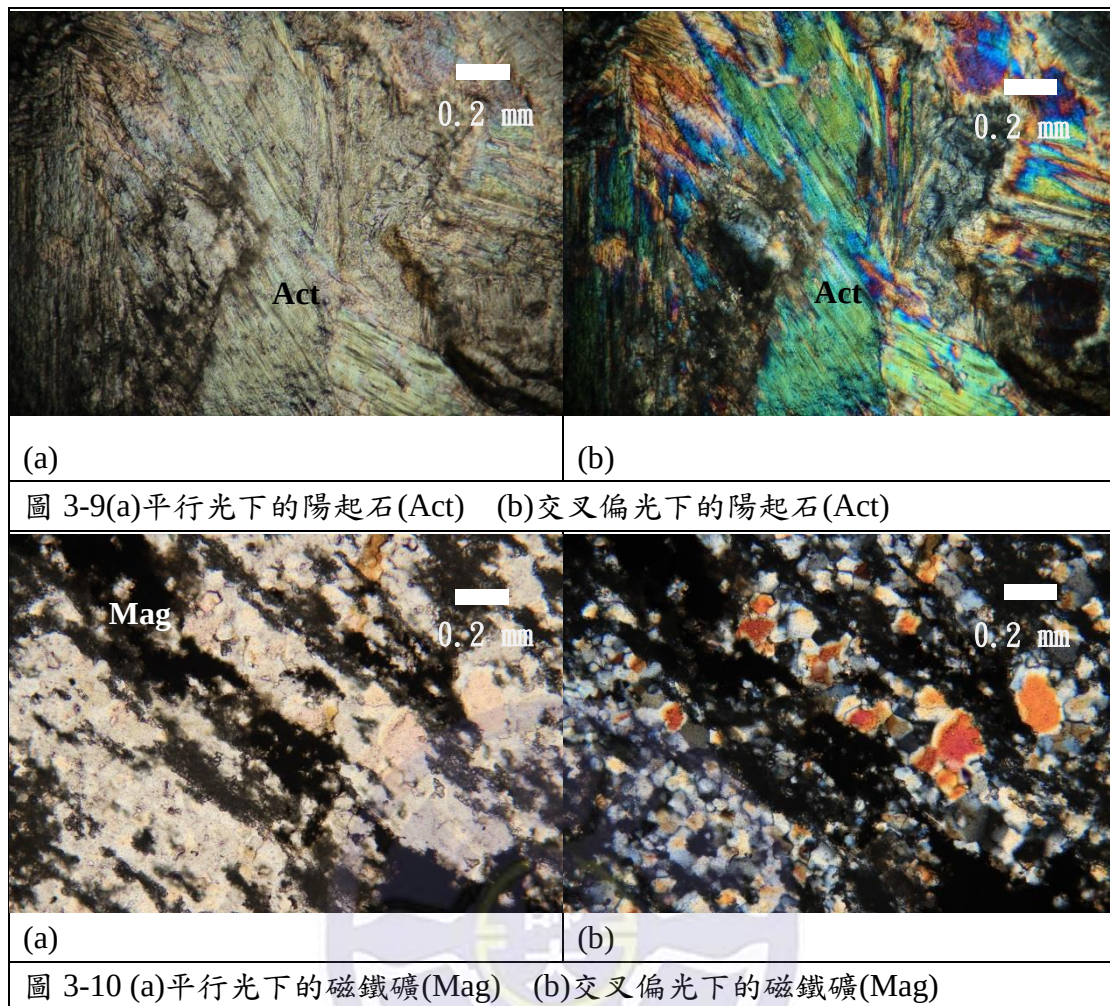
圖 3-7 (a)平行光下的錳鋁榴石(Sps) (b)交叉偏光下的錳鋁榴石(Sps)



(a)

(b)

圖 3-8(a)平行光下的石英(Qtz) (b)交叉偏光下的石英(Qtz)



3-2 X 光粉末繞射儀分析結果

本研究利用 X 光粉末繞射儀，分別對三個地區共 11 件經由孟賽爾色序系統分類下的標本，進行礦物相之分析，得知在該色系下最常出現的礦物相。

本實驗鑑定結果，台灣 4 個標本中共發現 5 種礦物相，分別為薔薇輝石、菱錳礦、石英、錳白雲石(Kutnohorite)、錳橄欖石(Tephroite)；中國 5 個標本中共發現 5 種礦物相，分別為薔薇輝石、錳鋁榴石、菱錳礦、石英、鈉長石(Albite)；巴西 2 個標本中共發現 3 種礦物相，分別為薔薇輝石、石英、陽起石(Actinolite)；綜合以上結果三個地區共有 8 種礦物相，分別為薔薇輝石、菱錳礦、錳鋁榴石、

石英、鈉長石、陽起石、錳白雲石、錳橄欖石，其中 R(紅)色系中又以薔薇輝石最多，整理如表 3-1。

表 3-1 X 光粉末繞射儀分析結果

標本編號	色系	礦物相	標本編號	色系	礦物相
T-1	B	菱錳礦、石英、錳白雲石	C-4-2	W	鈉長石
T-2	W	菱錳礦、石英	C-4-3	YR	菱錳礦、石英、鈉長石
T-4	B	菱錳礦、錳橄欖石	C-5	W	石英
T-7-1	R	薔薇輝石、石英	C-7-1	R	薔薇輝石
T-7-2	W	菱錳礦、石英	C-7-2	B	薔薇輝石、石英
C-1-1	Y	錳鋁榴石、石英	B-1-1	R	薔薇輝石、陽起石
C-1-2	B	錳鋁榴石、石英	B-1-2	B	薔薇輝石、陽起石
C-2	R	薔薇輝石、錳鋁榴石	B-2-1	Y	薔薇輝石、陽起石
C-4-1	YR	菱錳礦、石英、鈉長石	B-2-2	R	薔薇輝石、陽起石

3-3 拉曼光譜儀分析

首先利用孟賽爾色序系統來對比，將各標本拍照後(光源條件為白光且使用白平衡校正)，利用 ImageJ 估算各色系的不規則面積(圖 3-10)，再根據各色系所佔總面積的比例，決定該色系所需分析的次數，最後利用拉曼光譜儀對玫瑰石標本，進行詳細的礦物相分析。

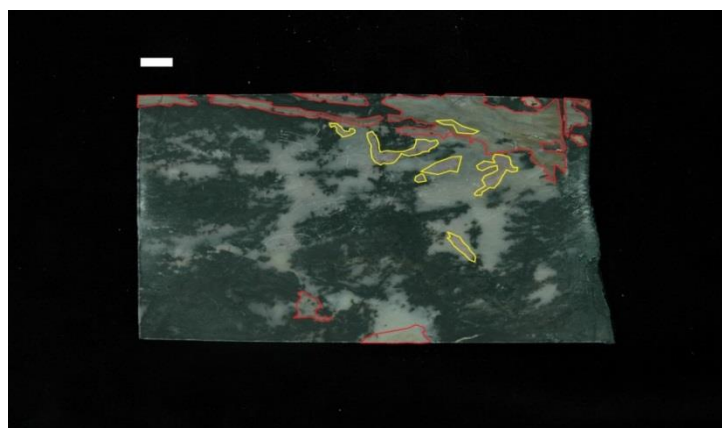


圖 3-11 估算不規則面積，以標本 C-1 為例

標本 C-1 中，紅色線段所圍之面積為 Y 色系分布區域，黃色線段所圍之面積為 R 色系分布區域，依此類推，該估算軟體會將各色系所包含之區域面積算出來，最後根據該色系佔整塊標本之比例，來決定拉曼檢測的點數。面積所佔越多，拉曼分析點數也會越多。表 3-2 為標本 C-1 面積估算後之結果。

表 3-2 標本 C-1 各色系所佔面積

色系	面積 (cm ²)	拉曼分析 點數
B	75	10
R	11	2
W	28	4
Y	32	4
總面積	146	20

3-3-1 拉曼分析結果

本實驗結果，台灣有 10 個標本，每個標本分析 20 點，共發現 13 種礦物，分別為薔薇輝石、石英、菱錳礦、錳鋁榴石、方解石、磁鐵礦(Magnetite)、白雲石(Dolomite)、鐵白雲石(Ankerite)、錳白雲石、錳輝石、鉻鉛礦(Crocoite)、重晶石(Barite)及銳鈦礦(Anatase)；中國有 10 個標本，每個標本分析 20 點，共發現 14 種礦物，分別為薔薇輝石、石英、菱錳礦、錳鋁榴石、錳輝石(Pyroxmanigite)、錳白雲石、磁鐵礦、鈉長石(Albite)、透輝石(Diopside)、陽起石、重晶石、綠泥石(Chlorite)、直閃石(Anthophyllite)、鈦鐵礦(Titanite)。巴西有 3 個標本，每個標本分析 20 點，共找到 9 種礦物，分別為薔薇輝石、鈣薔薇輝石(Bustamite)、菱錳礦、錳鋁榴石、錳輝石、透輝石、陽起石、磁鐵礦、方解石。

綜合以上拉曼分析結果之玫瑰石礦物相共有 20 種，包括薔薇輝石、菱錳礦、石英、錳鋁榴石、磁鐵礦、錳輝石、方解石、鈉長石、陽起石、透輝石、

白雲石、鐵白雲石、錳白雲石、綠泥石、鈣薔薇輝石、直閃石、鈦鐵礦、重晶石、鉻鉛礦、銳鈦礦。

利用本研究及前人文獻(Mills et al., 2005 ; Beny, 1991 ; Haung, 1999 ; McMillan and Hofmeister, 1988 ; Wang et al., 1994 ; Etchepare, 1971 ; Dimova et al., 2006 ; Gunasekaran et al., 1999) , 可以比對出以上礦物。含錳拉曼光譜圖如圖 3-11 , 非含錳礦物之拉曼光譜圖如圖 3-12 。

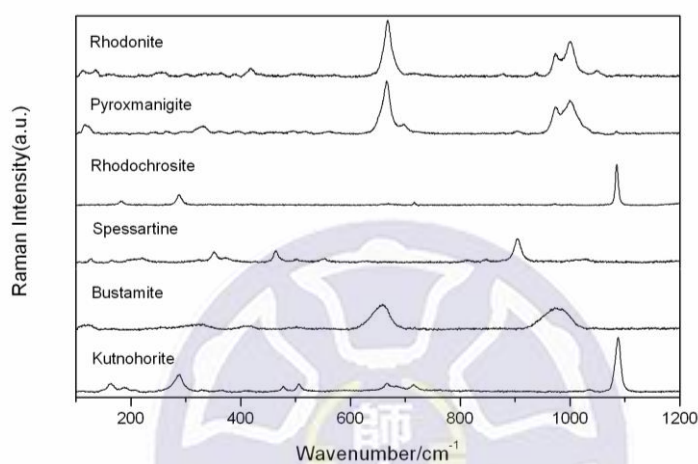


圖 3-12 含錳礦物之拉曼光譜圖

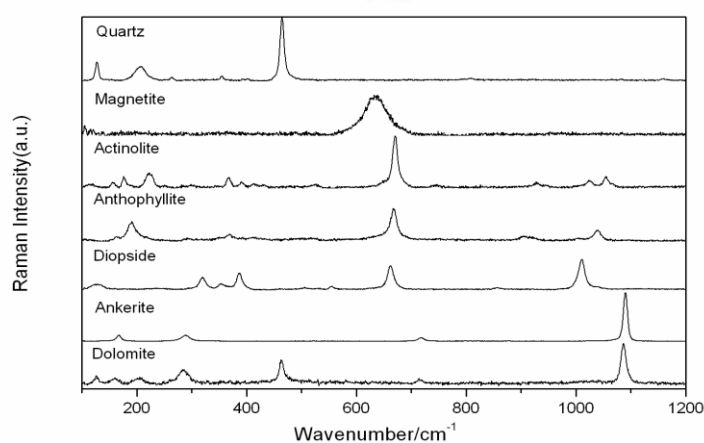


圖 3-13 非含錳礦物之拉曼光譜圖(1)

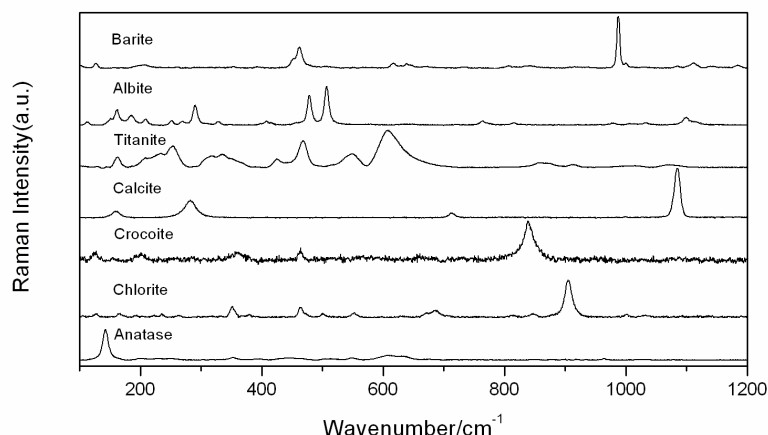


圖 3-14 非含錳礦物之拉曼光譜圖(2)

含錳礦物之拉曼光譜特徵峰值整理如圖 3-14，非含錳之拉曼光譜特徵峰值整理如圖 3-15，其中將每種礦物拉曼光譜波峰中最強之波峰當成 100%，其餘波峰與最強波峰比分別以符號 vs(100-70%)、s(69-50%)、m(49-10%)、w(9-5%)、vw(4-1%)表示。在含錳礦物中(圖 3-14)，薔薇輝石與錳輝石之拉曼特徵峰非常相似，通常錳輝石以峰值 326(m)、697(m)與薔薇輝石區別，菱錳礦之特徵峰為 178(w)、288(m)、1085(vs)，錳鋁榴石之特徵峰為 351(m)、657(m)、904(vs)，鈣薔薇輝石之特徵峰為 317(m)、649(vs)、978(v)、1040(s)，錳白雲石之特徵峰為 160(w)、285(s)、712(w)、1085(vs)。非含錳礦物中(如圖 3-15)，石英之特徵峰為 127(m)、206(m)、463(vs)，透輝石之特徵峰為 394(vs)、669(vs)、1015(vs)，綠泥石之特徵峰為 262(w)、384(m)、670(s)，鈉長石之特徵峰為 282(s)、478(vs)、510(vs)，白雲石之特徵峰為 177(w)、299(s)、1099(vs)，鐵白雲石之特徵峰為 171(m)、294(s)、1094(vs)，方解石之特徵峰為 153(w)、285(s)、712(m)、1085(vs)，磁鐵礦之特徵峰為 533(m)、658(s)，陽起石之特徵峰為 231(m)、677(vs)、1064(m)，直閃石之特徵峰為 340(m)、662(w)、684(vs)，鈦鐵礦之特徵峰為 253(s)、318(s)、614(vs)，鉻鉛礦之特徵峰為 355(m)、839(vs)，重晶石之特徵峰為 463(s)、997(vs)，銳鈦礦之特徵峰為 144(vs)、394(w)、637(w)。

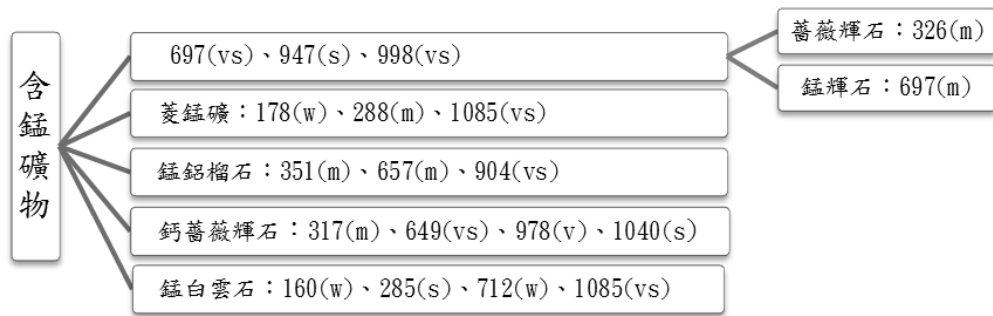


圖 3-15 含錳礦物之拉曼特徵峰(峰值強度 vs：100-70%；s：69-50%；m：49-10%；w：9-5%；vw：4-1%)



圖 3-16 非含錳礦物之拉曼特徵峰(峰值強度 vs：100-70%；s：69-50%；m：49-10%；w：9-5%；vw：4-1%)

以下為台灣、中國、巴西玫瑰石的拉曼分析結果，顯示於表 3-3 至表 3-25，標本分析點位置圖及拉曼光譜圖如圖 3-16 至圖 3-62。

台灣 T-1 標本：Y 色系佔 21%， R 色系佔 8%，B 色系佔 52%，W 色系佔 19%，其中 Y、R 及 B 色系皆以菱錳礦為主(表 3-3)。

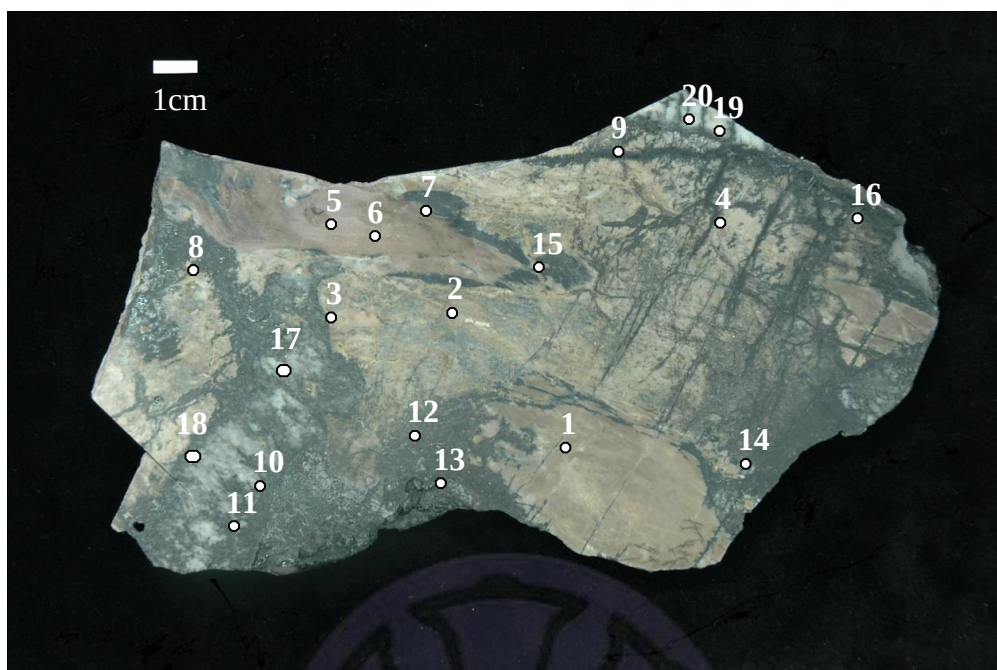


圖 3-17 T-1 拉曼光譜分析位置

表 3-3 T-1 拉曼光譜分析結果

色系			比例		
Y			21		
YR			0		
R			8		
B			52		
W			19		
總計			100		
Site	Color	Mineral	Site	Color	Mineral
1	Y	Rhodochrosite	11	B	Magnetite
2	Y	Rhodochrosite	12	B	Rhodochrosite
3	Y	Rhodochrosite	13	B	Rhodochrosite
4	Y	Rhodochrosite	14	B	Rhodochrosite
5	R	Rhodochrosite	15	B	Rhodochrosite
6	R	Rhodochrosite	16	B	Magnetite
7	B	Rhodochrosite	17	W	Quartz
8	B	Quartz	18	W	Quartz
9	B	Rhodochrosite	19	W	Quartz
10	B	Magnetite	20	W	Quartz

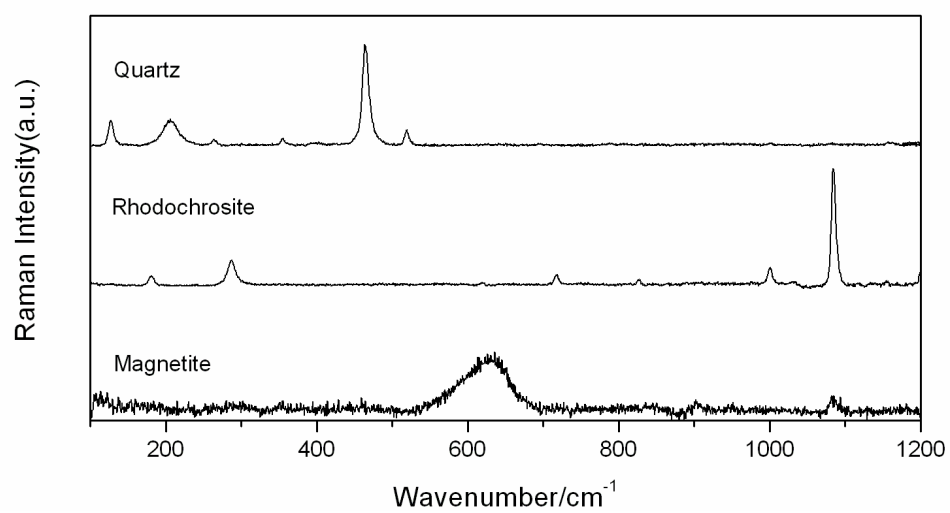


圖 3-18 T-1 拉曼光譜圖



台灣 T-2 標本：Y 色系佔 20%， R 色系佔 29%，B 色系佔 38%，W 色系佔 13%，其中 B 色系錳鋁榴石為主(表 3-4)。



圖 3-19 T-2 拉曼光譜分析位置

表 3-4 T-2 拉曼光譜分析結果

色系			比例		
Y			20		
YR			0		
R			29		
B			38		
W			13		
總計			100		
Site	Color	Mineral	Site	Color	Mineral
1	R	Quartz+Rhodonite+Kutnohorite	11	B	Calcite
2	R	Quartz+Rhodonite+Kutnohorite	12	B	Quartz+Calcite
3	R	Spessartine	13	B	Quartz
4	R	Calcite	14	B	Spessartine
5	R	Rhodonite	15	B	Spessartine
6	R	Rhodonite	16	B	Spessartine
7	Y	Quartz+Calcite	17	B	Spessartine
8	Y	Spessartine	18	W	Quartz+Calcite
9	Y	Calcite	19	W	Calcite
10	Y	Spessartine	20	W	Calcite

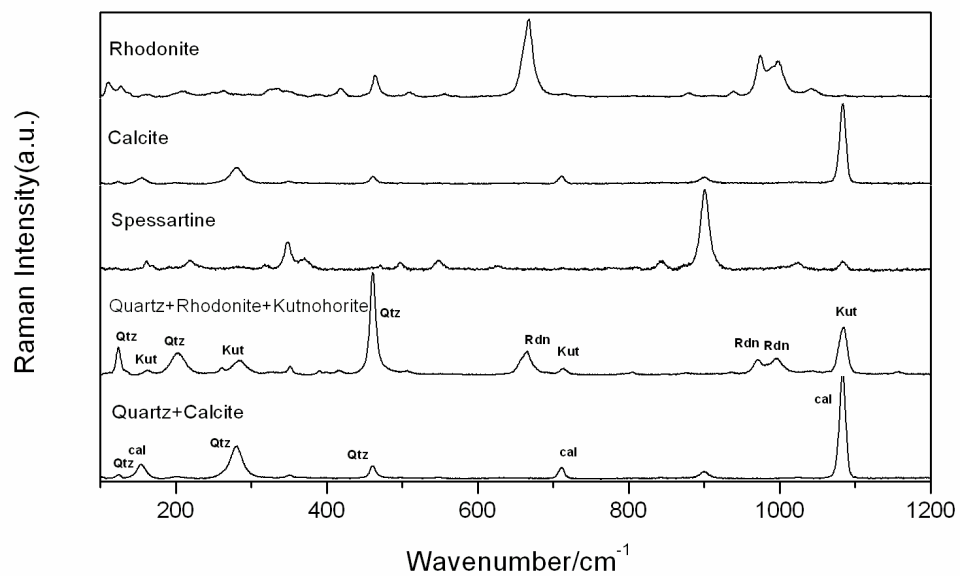


圖 3-20 T-2 拉曼光譜圖



台灣 T-3 標本：YR 色系佔 75%， B 色系佔 25%，其中 YR 色系以錳鋁榴石及鐵白雲石為主，B 色系以石英為主(表 3-5)。

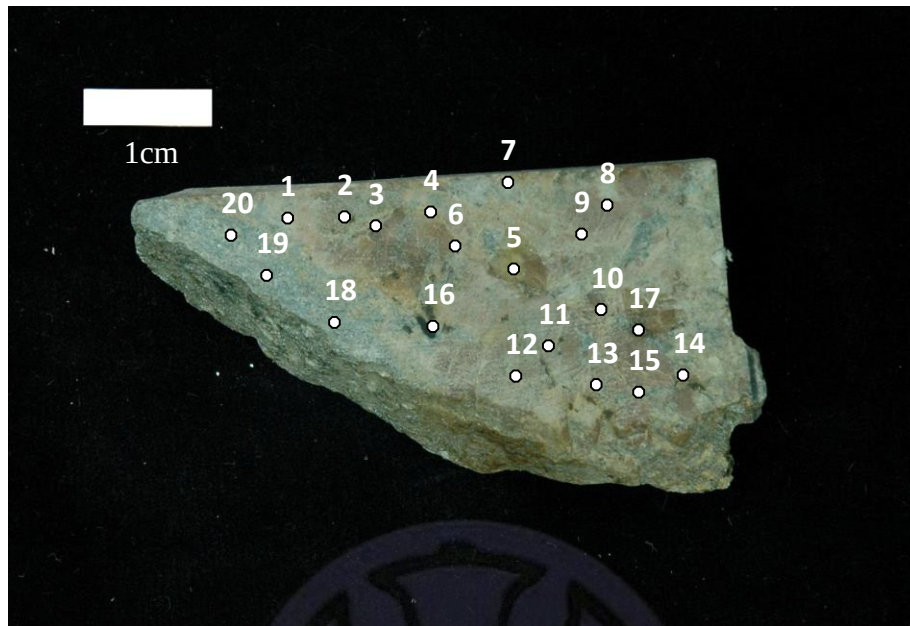


圖 3-21 T-3 拉曼光譜分析位置

表 3-5 T-3 拉曼光譜分析結果

色系			比例		
Y			0		
YR			75		
R			0		
B			25		
W			0		
總計			100		
Site	Color	Mineral	Site	Color	Mineral
1	YR	Spessartine	11	YR	Spessartine
2	YR	Spessartine	12	YR	Ankerite
3	YR	Ankerite	13	YR	Ankerite
4	YR	Ankerite	14	YR	Spessartine
5	YR	Spessartine	15	YR	Anatase
6	YR	Spessartine+Ankerite	16	B	Spessartine
7	YR	Ankerite	17	B	Quartz
8	YR	Spessartine	18	B	Quartz
9	YR	Spessartine	19	B	Quartz
10	YR	Spessartine	20	B	Quartz

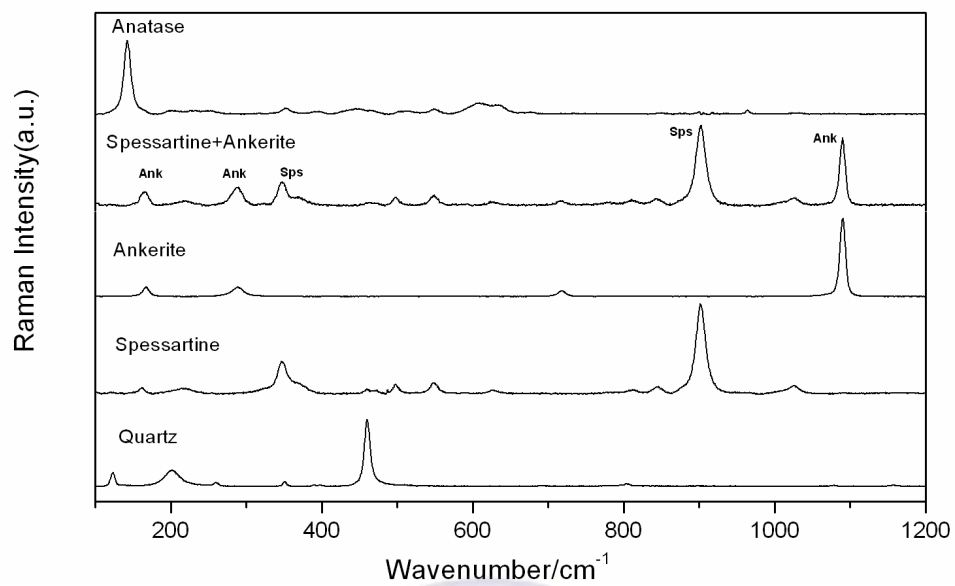


圖 3-22 T-3 拉曼光譜圖



台灣 T-4 標本：YR 色系佔 88%， w 色系佔 12%，其中 R 色系以薔薇輝石為主，W 色系以石英為主(表 3-6)。

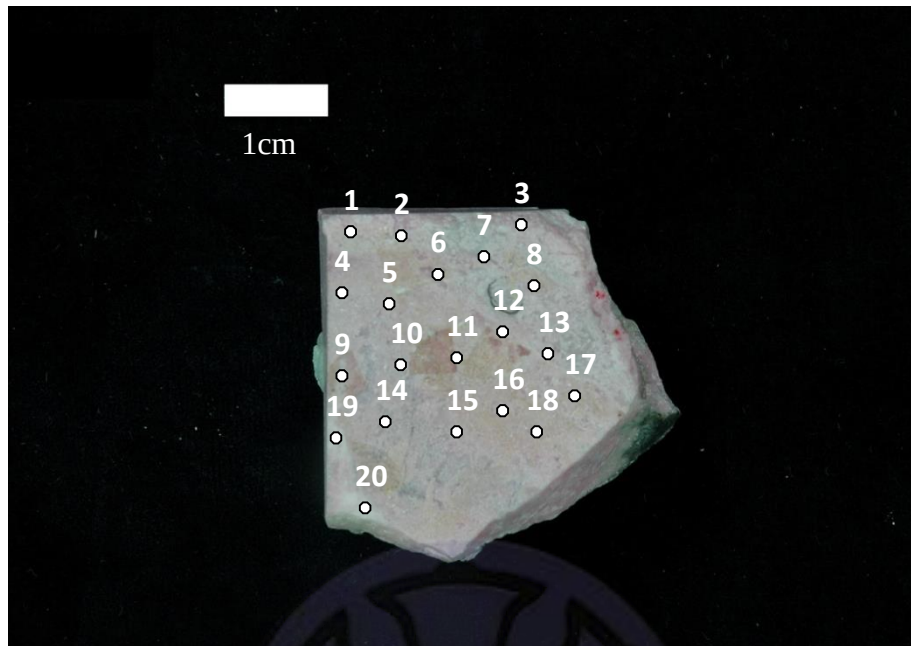


圖 3-23 T-4 拉曼光譜分析位置

表 3-6 T-4 拉曼光譜分析結果

色系			比例		
Y			0		
YR			0		
R			88		
B			0		
W			12		
總計			100		
Site	Color	Mineral	Site	Color	Mineral
1	R	Rhodochrosite	11	R	Rhodonite
2	R	Rhodonite+Quartz	12	R	Rhodonite
3	R	Rhodonite	13	R	Rhodonite
4	R	Rhodonite	14	R	Rhodonite
5	R	Quartz	15	R	Rhodonite
6	R	Rhodonite+Quartz	16	R	Rhodonite
7	R	Quartz	17	R	Rhodonite
8	R	Rhodonite+Quartz	18	R	Rhodonite
9	R	Rhodonite	19	W	Quartz
10	R	Rhodonite	20	W	Quartz

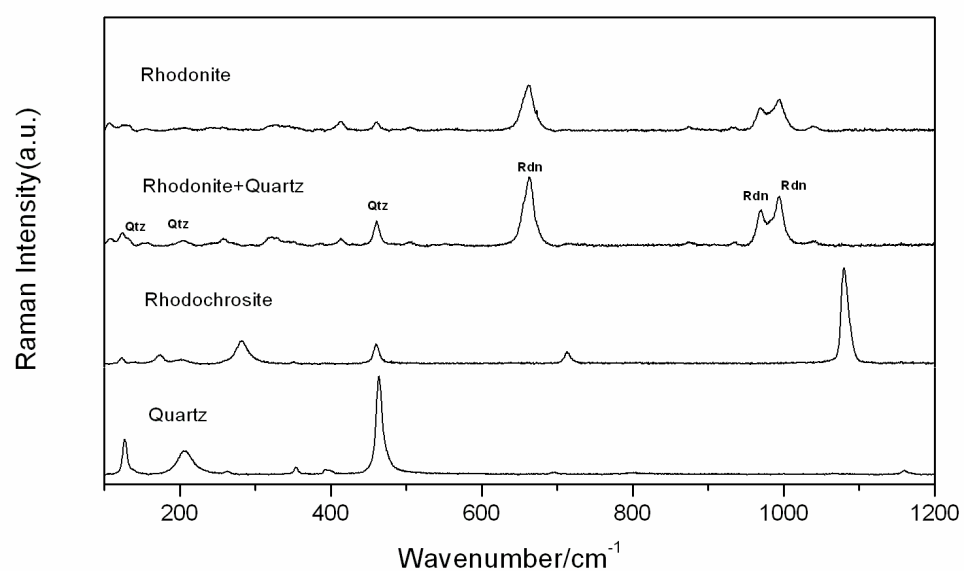


圖 3-24 T-4 拉曼光譜圖



台灣 T-5 標本：R 色系佔 40%， B 色系佔 60%，其中 R 色系以薔薇輝石為主
夾雜一些石英，B 色系以石英為主夾雜一些薔薇輝石(表 3-7)。

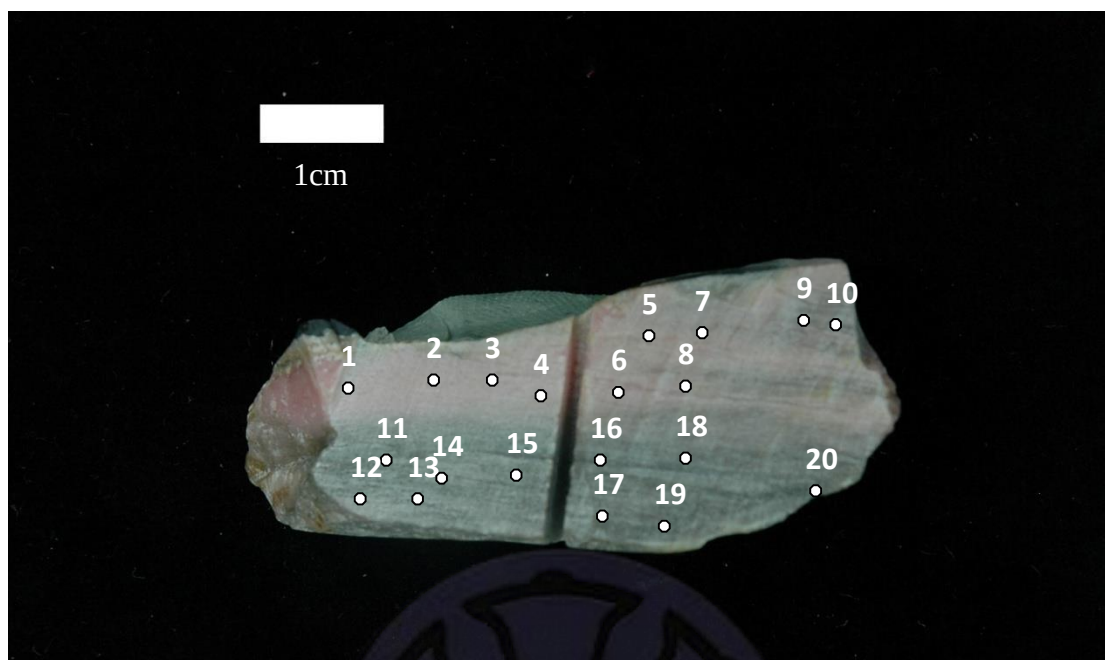


圖 3-25 T-5 拉曼光譜分析位置

表 3-7 T-5 拉曼光譜分析結果

色系			比例		
Y			0		
YR			0		
R			40		
B			60		
W			0		
總計			100		
Site	Color	Mineral	Site	Color	Mineral
1	R	Pyroxmanigite+Quartz	11	B	Quartz
2	R	Rhodonite+Quartz	12	B	Quartz
3	R	Rhodonite	13	B	Quartz+Dolomite
4	R	Rhodonite+Quartz+Crocoite	14	B	Quartz+Rhodonite
5	R	Rhodonite	15	B	Quartz
6	R	Rhodonite	16	B	Quartz+Rhodonite
7	R	Rhodonite	17	B	Quartz+Rhodonite
8	R	Rhodonite	18	B	Quartz
9	B	Quartz	19	B	Quartz
10	B	Quartz	20	B	Quartz+Rhodonite

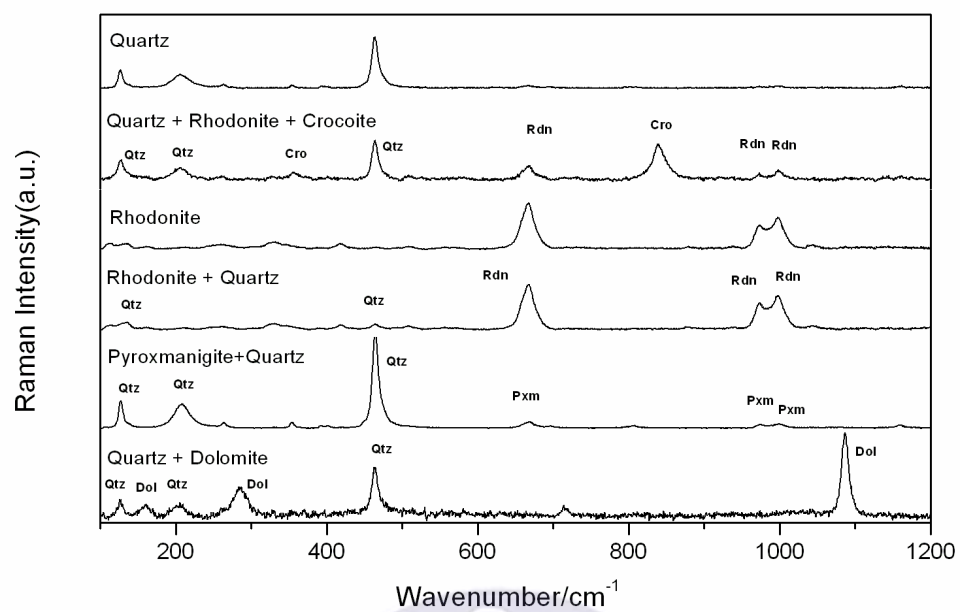


圖 3-26 T-5 拉曼光譜圖



台灣 T-6 標本：Y 色系佔 49%，R 色系佔 40%，B 色系佔 11%，其中 R 色系以薔薇輝石為主並夾雜一些石英，Y 色系以石英為主(表 3-8)。

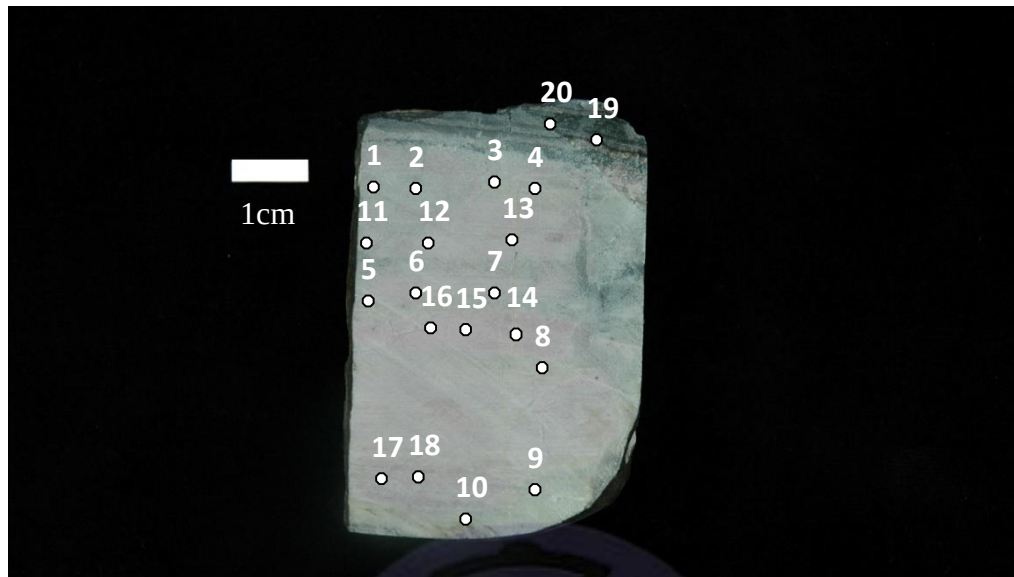


圖 3-27 T-6 拉曼光譜分析位置

表 3-8 T-6 拉曼光譜分析結果

色系			比例		
Y			49		
YR			0		
R			40		
B			11		
W			0		
總計			100		
Site	Color	Mineral	Site	Color	Mineral
1	Y	Rhodonite+Quartz	11	R	Rhodonite+Quartz
2	Y	Spessartine+Quartz	12	R	Quartz
3	Y	Quartz	13	R	Quartz+Rhodonite
4	Y	Quartz+Rhodonite	14	R	Rhodochrosite+Quartz
5	Y	Quartz+Rhodochrosite	15	R	Rhodonite
6	Y	Quartz	16	R	Rhodonite
7	Y	Quartz	17	R	Rhodonite
8	Y	Quartz	18	R	Rhodonite
9	Y	Quartz	19	B	Quartz
10	Y	Quartz	20	B	Magnetite

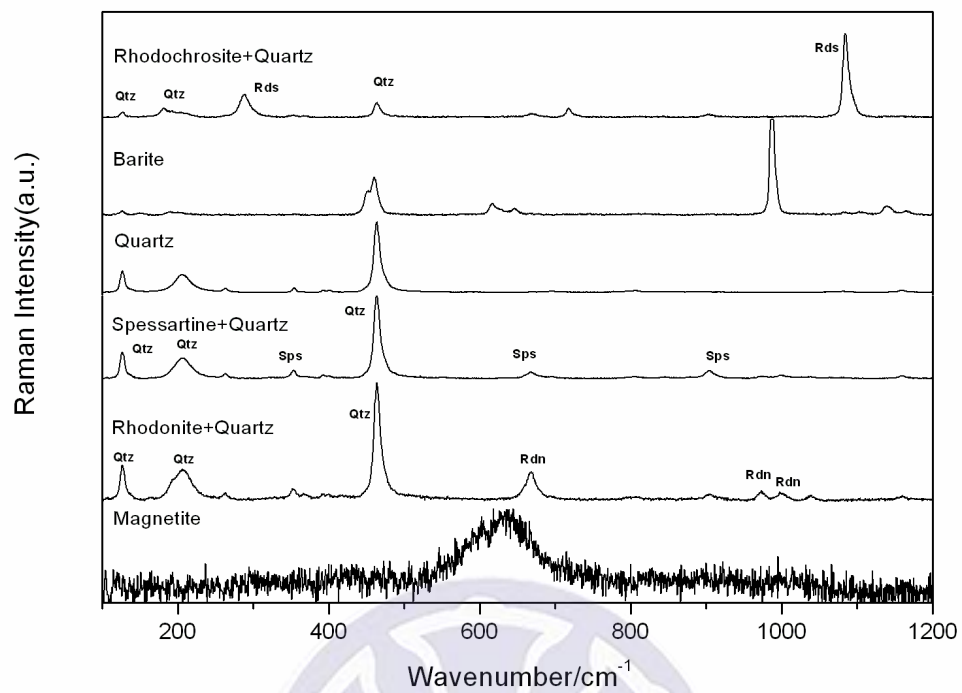


圖 3-28 T-6 拉曼光譜圖

台灣 T-7 標本：R 色系佔 47%， B 色系佔 29%，W 色系佔 24%，其中 R 色系以薔薇輝石及菱錳礦為主並夾雜一些石英，B、W 色系以石英為主(表 3-9)。

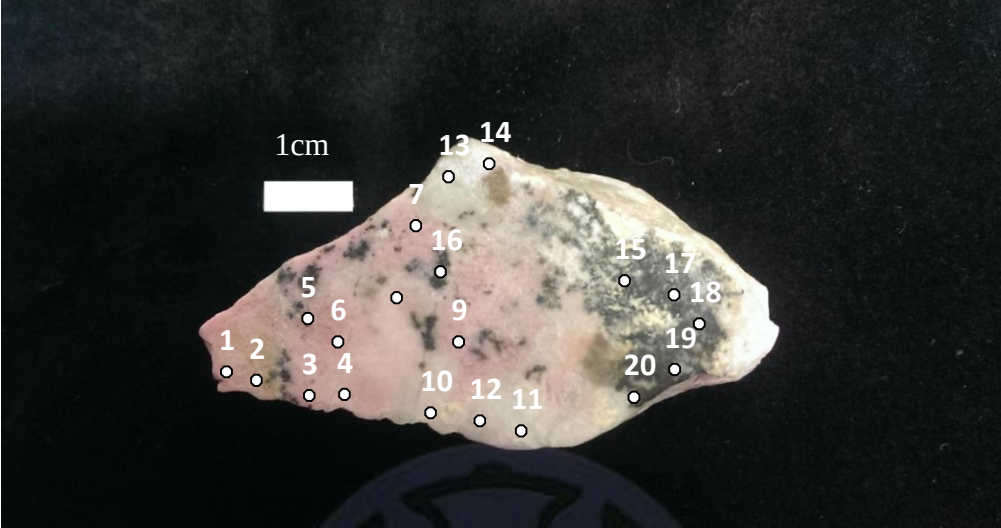


圖 3-29 T-7 拉曼光譜分析位置

表 3-9 T-7 拉曼光譜分析結果

色系			比例		
Y			0		
YR			0		
R			47		
B			29		
W			24		
總計			100		
Site	Color	Mineral	Site	Color	Mineral
1	R	Quartz+Rhodonite	11	W	Quartz
2	R	Calcite+Quartz+Rhodonite	12	W	Quartz
3	R	Rhodochrosite+Pyroxmangite	13	W	Quartz
4	R	Calcite+Quartz+Rhodonite	14	W	Quartz
5	R	Quartz+Crocoite	15	B	Quartz
6	R	Rhodochrosite	16	B	Quartz
7	R	Rhodonite	17	B	Calcite+Quartz
8	R	Rhodonite	18	B	Quartz
9	R	Rhodochrosite	19	B	Quartz
10	W	Quartz	20	B	Quartz

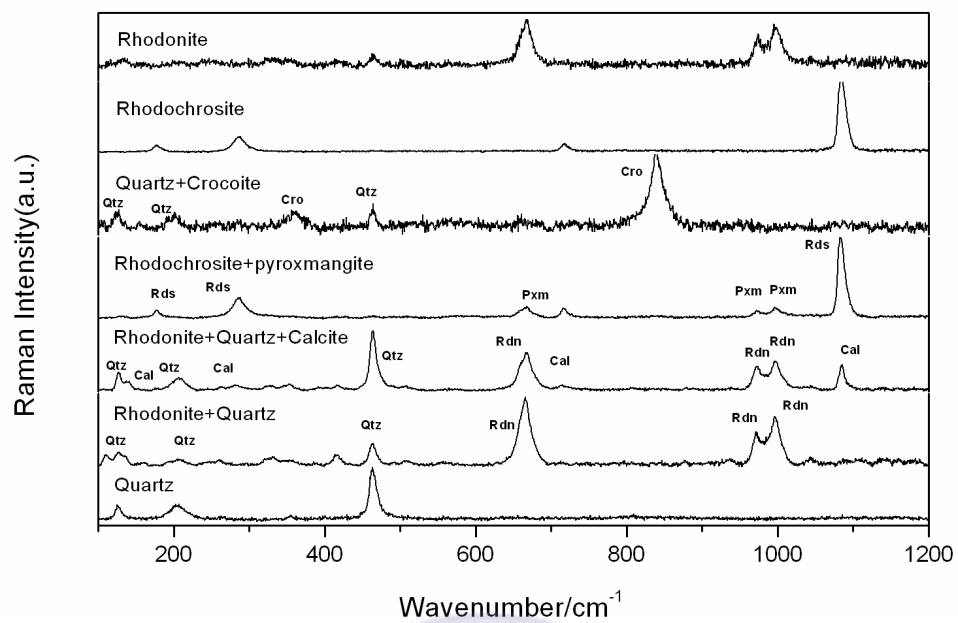


圖 3-30 T-7 拉曼光譜圖



台灣 T-8 標本：R 色系佔 34%， B 色系佔 26%，W 色系佔 40%，其中 R 色系以薔薇輝石及菱錳礦為主，W 色系以石英為主，B 色系以磁鐵礦為主(表 3-10)。

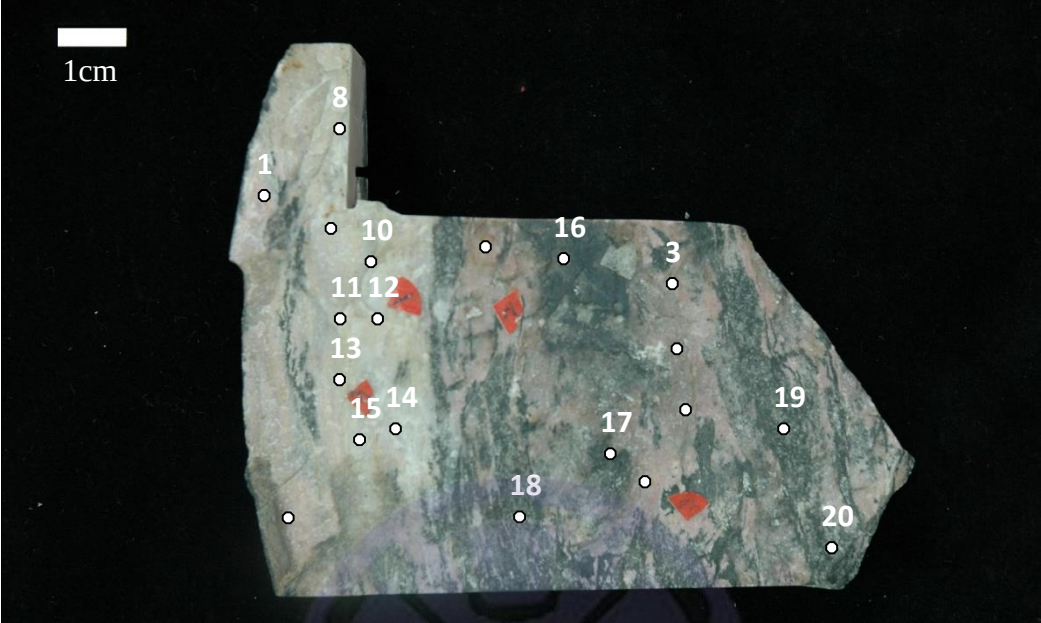


圖 3-31 T-8 拉曼光譜分析位置

表 3-10 T-8 拉曼光譜分析結果

色系			比例		
Y			0		
YR			0		
R			34		
B			26		
W			40		
總計			100		
Site	Color	Mineral	Site	Color	Mineral
1	R	Rhodochrosite	11	W	Quartz
2	R	Rhodonite	12	W	Quartz
3	R	Rhodochrosite	13	W	Quartz
4	R	Rhodonite +Calcite	14	W	Quartz
5	R	Rhodonite	15	W	Quartz
6	R	Rhodonite	16	B	Magnetite
7	R	Rhodonite	17	B	Magnetite
8	W	Quartz	18	B	Magnetite
9	W	Quartz	19	B	Magnetite
10	W	Quartz	20	B	Magnetite

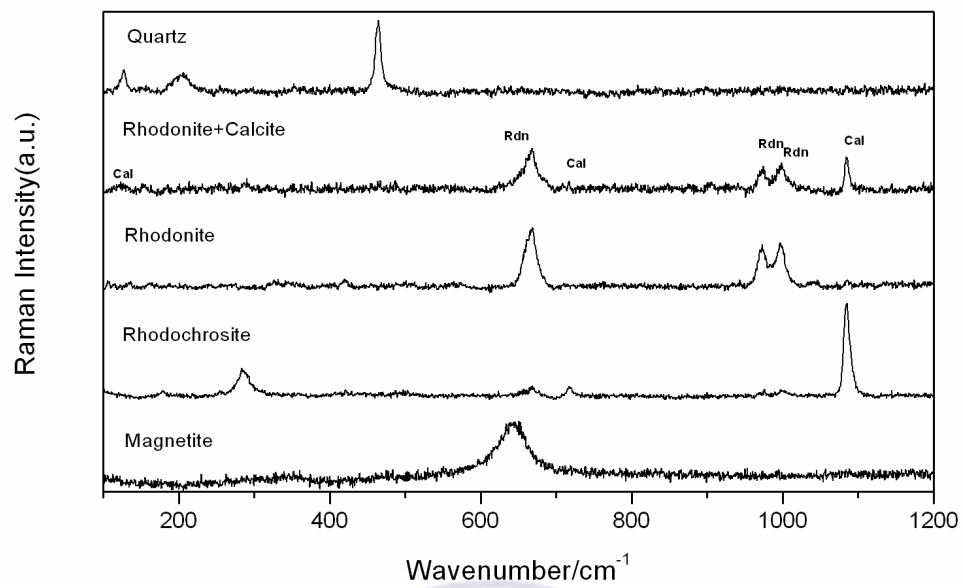


圖 3-32 T-8 拉曼光譜圖



台灣 T-9 標本：Y 色系佔 13%，R 色系佔 74%，B 色系佔 13%，其中 Y 色系以菱錳礦及石英為主，R 色系以薔薇輝石及菱錳礦為主，B 色系以菱錳礦為主(表 3-11)。

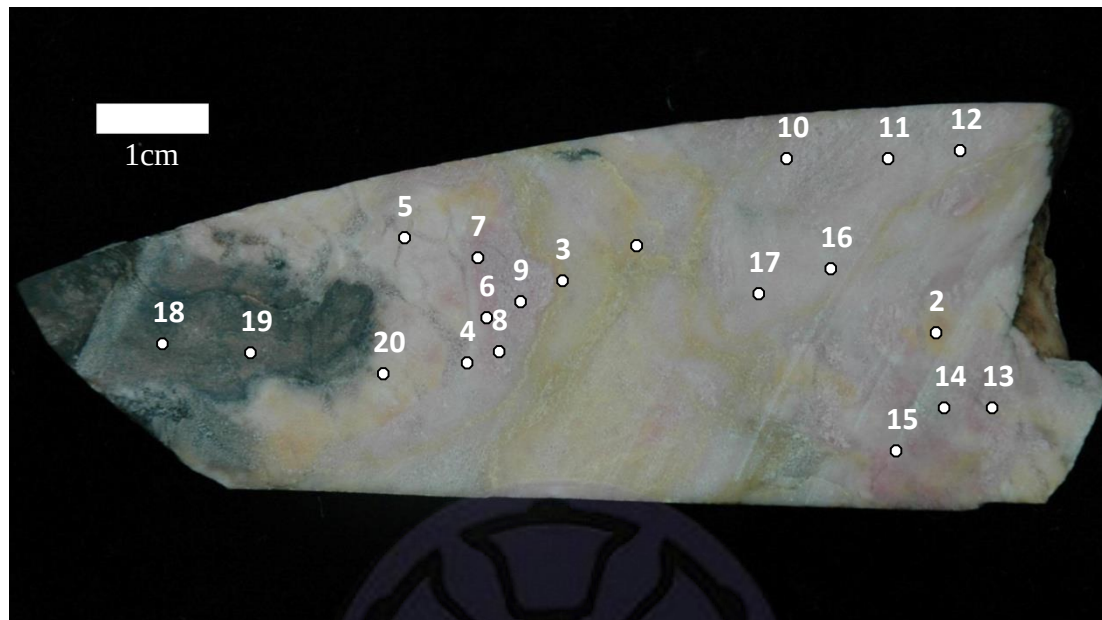


圖 3-33 T-9 拉曼光譜分析位置

表 3-11 T-9 拉曼光譜分析結果

色系			比例		
Y			13		
YR			0		
R			74		
B			13		
W			0		
總計			100		
Site	Color	Mineral	Site	Color	Mineral
1	Y	Rhodochrosite	11	R	Rhodochrosite
2	Y	Quartz + Rhodochrosite	12	R	Rhodochrosite
3	Y	Quartz	13	R	Rhodonite
4	R	Rhodochrosite	14	R	Rhodonite
5	R	Quartz	15	R	Rhodonite
6	R	Rhodochrosite	16	R	Rhodonite
7	R	Rhodonite	17	R	Rhodonite
8	R	Rhodonite	18	B	Rhodochrosite
9	R	Rhodochrosite	19	B	Rhodochrosite
10	R	Rhodochrosite	20	B	Rhodochrosite

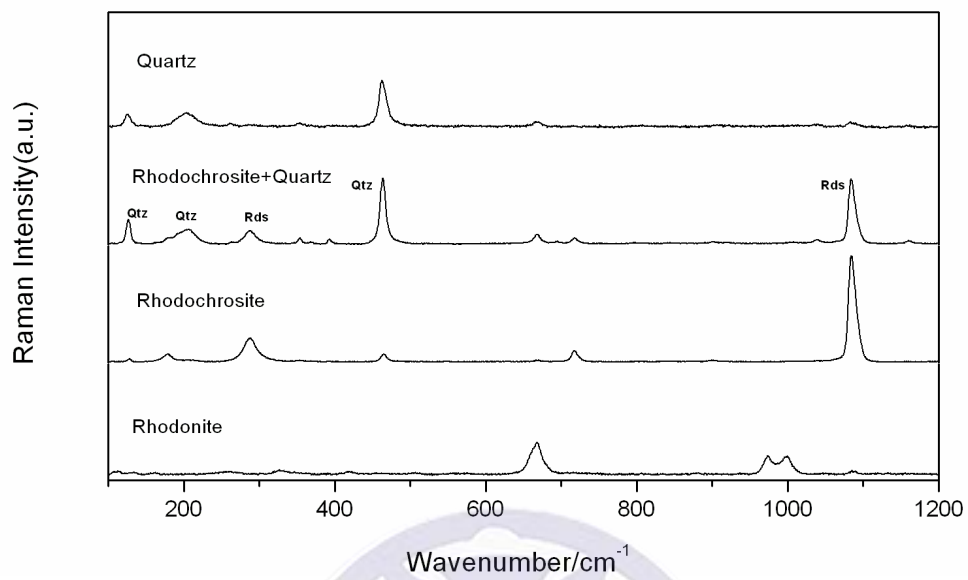


圖 3-34 T-9 拉曼光譜圖

台灣 T-10 標本：Y 色系佔 11%， YR 色系佔 18%，R 色系佔 36%，B 色系佔 20%，W 色系佔 15%，其中 Y 色系以薔薇輝石及菱錳礦為主， YR 色系以菱錳礦為主，R 色系以薔薇輝石為主，B 色系以磁鐵礦為主(表 3-12)

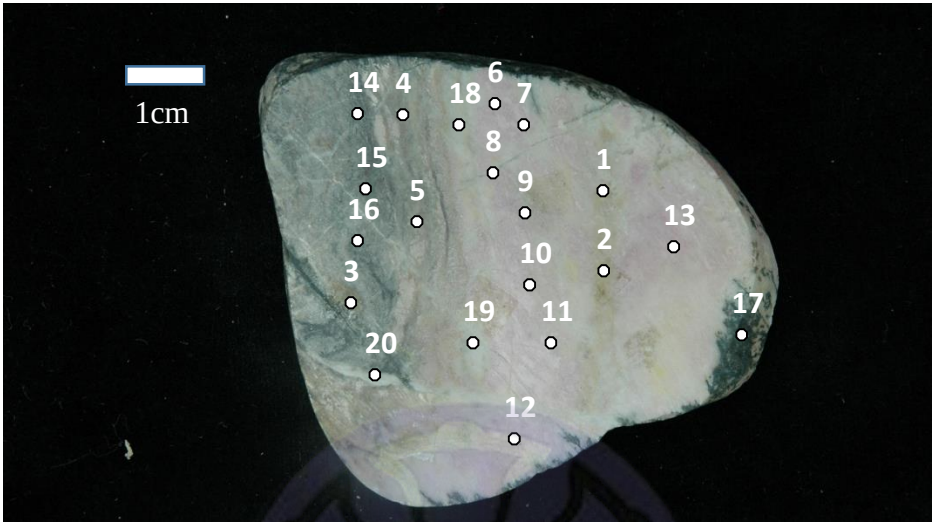


圖 3-35 T-10 拉曼光譜分析位置

表 3-12 T-10 拉曼光譜分析結果

色系			比例		
Y			11		
YR			18		
R			36		
B			20		
W			15		
總計			100		
Site	Color	Mineral	Site	Color	Mineral
1	Y	Quartz+Rhodonite	11	R	Rhodonite
2	Y	Quartz+ Rhodochrosite	12	R	Rhodonite
3	YR	Rhodochrosite+Quartz	13	R	Rhodonite
4	YR	Quartz	14	B	Magnetite
5	YR	Rhodochrosite	15	B	Magnetite
6	YR	Rhodochrosite	16	B	Magnetite
7	R	Rhodochrosite	17	B	Magnetite
8	R	Quartz+Rhodonite	18	W	Calcite
9	R	Rhodochrosite	19	W	Barite
10	R	Quartz	20	W	Quartz

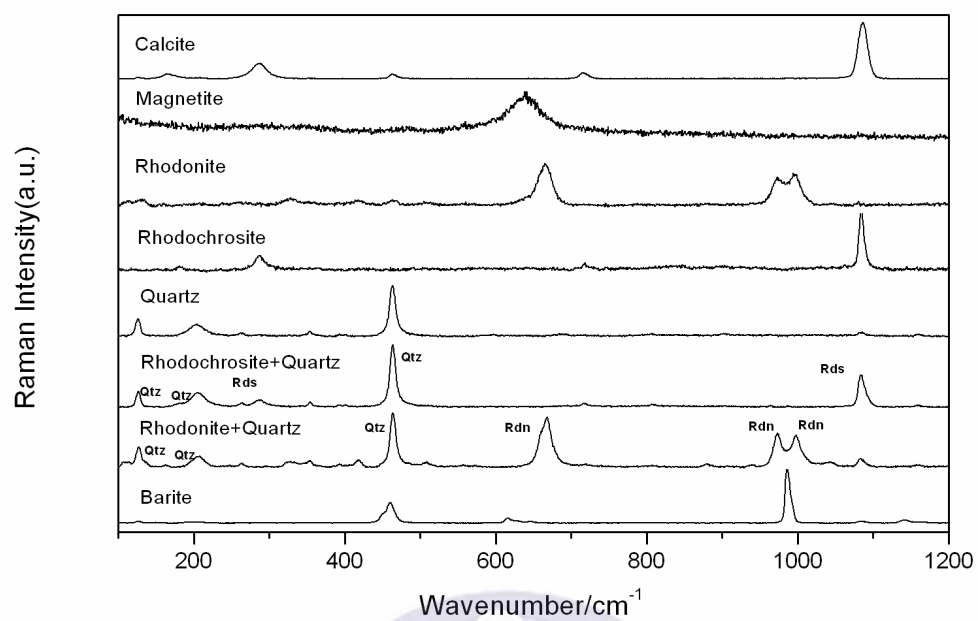


圖 3-36 T-10 拉曼光譜圖



中國 C-1 標本：Y 色系佔 22%，R 色系佔 7%，B 色系佔 52%，W 色系佔 19%，
其中 Y 及 B 色系以錳鋁榴石為主，W 色系以石英為主(表 3-13)。

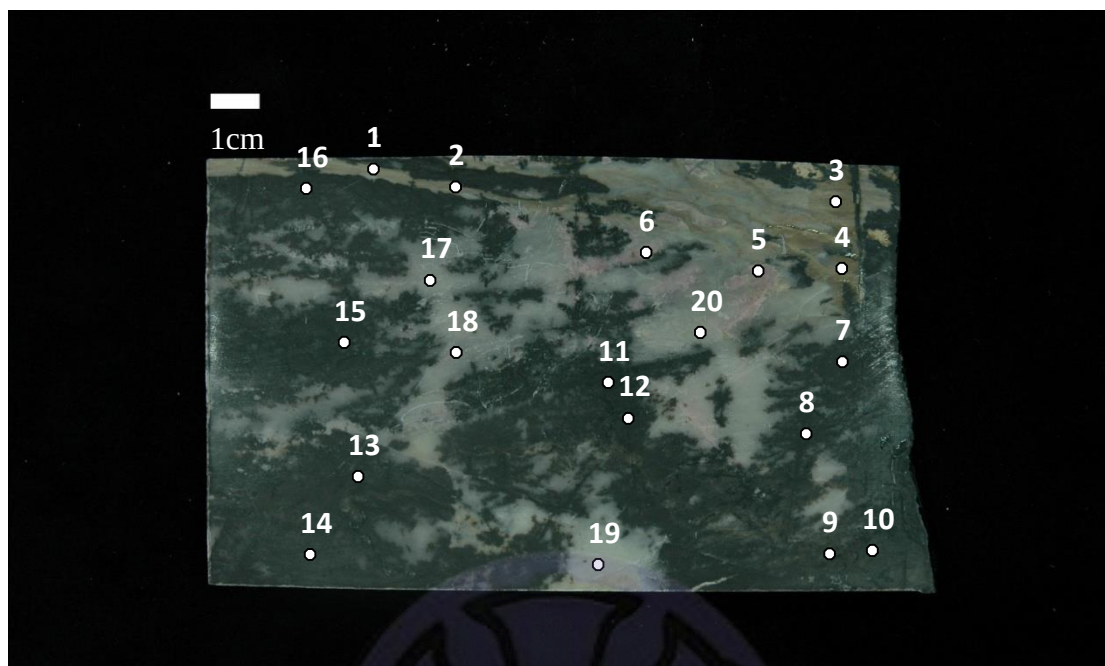


圖 3-37 C-1 拉曼光譜分析位置

表 3-13 C-1 拉曼光譜分析結果

色系			比例		
Y			22		
YR			0		
R			7		
B			52		
W			19		
總計			100		
Site	Color	Mineral	Site	Color	Mineral
1	Y	Spessartine+Rhodochrosite	11	B	Spessartine
2	Y	Chlorite+ Spessartine	12	B	Spessartine
3	Y	Spessartine	13	B	Spessartine
4	Y	Spessartine	14	B	Spessartine
5	R	Pyroxmangite+Quartz	15	B	Spessartine
6	R	Rhodonite	16	B	Anthophyllite
7	B	Quartz	17	W	Quartz
8	B	Quartz	18	W	Quartz
9	B	Magnetite	19	W	Quartz
10	B	Spessartine	20	W	Quartz

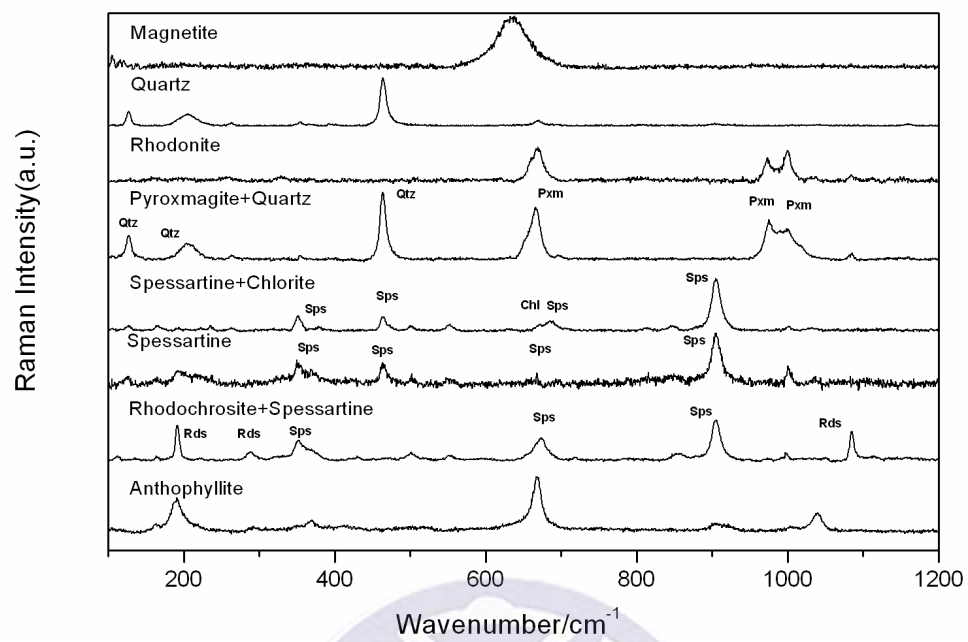


圖 3-38 C-1 拉曼光譜圖



中國 C-2 標本： YR 色系佔 28%，R 色系佔 45%，B 色系佔 28%，，其中 YR 色系以錳輝石為主，R 及 B 色系分析到之礦物相為薔薇輝石、錳輝石、錳鋁榴石、錳白雲石、磁鐵礦(表 3-14)。

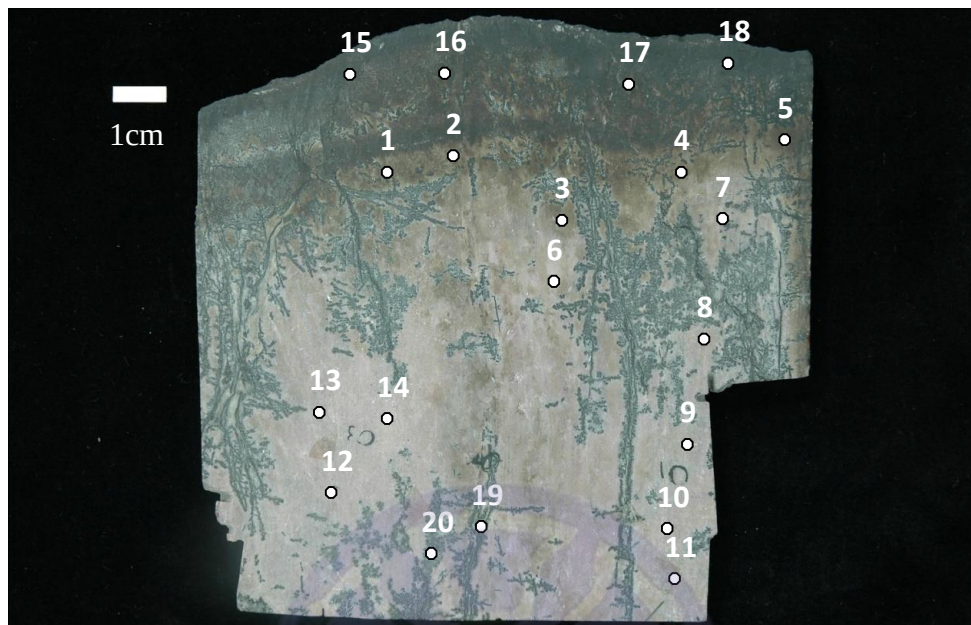


圖 3-39 C-2 拉曼光譜分析位置

表 3-14 C-2 拉曼光譜分析結果

色系			比例		
Y			0		
YR			28		
R			45		
B			28		
W			0		
總計			100		
Site	Color	Mineral	Site	Color	Mineral
1	YR	Pyroxmangite	11	R	Rhodonite
2	YR	Pyroxmangite	12	R	Rhodonite
3	YR	Pyroxmangite	13	R	Rhodonite
4	YR	Spessartine	14	R	Rhodonite
5	YR	Pyroxmangite	15	B	Spessartine+Rhodonite
6	R	Rhodonite+Kutnohorite	16	B	Magnetite
7	R	Pyroxmangite	17	B	Pyroxmangite
8	R	Spessartine+Rhodonite	18	B	Magnetite
9	R	Rhodonite	19	B	Magnetite
10	R	Rhodonite	20	B	Magnetite

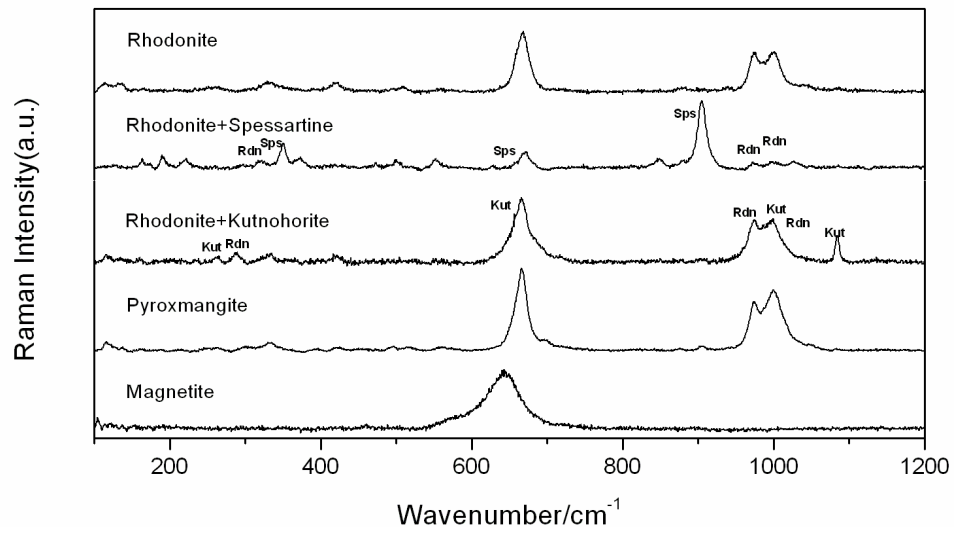


圖 3-40 C-2 拉曼光譜圖



中國 C-3 標本：Y 色系佔 3%， YR 色系佔 42%，R 色系佔 44%，B 色系佔 5%，
W 色系佔 6%，其中 YR 色系以菱錳礦為主，R 色系以薔薇輝石
為主(表 3-15)。



圖 3-41 C-3 拉曼光譜分析位置

表 3-15 C-3 拉曼光譜分析結果

色系			比例		
Y			3		
YR			42		
R			44		
B			5		
W			6		
總計			100		
Site	Color	Mineral	Site	Color	Mineral
1	Y	Spessartine	11	R	Rhodonite+Quartz+Spessartine
2	YR	Barite	12	R	Albite +Quartz
3	YR	Rhodochrosite+Spessartine	13	R	Rhodonite
4	YR	Rhodochrosite	14	R	Rhodonite
5	YR	Rhodochrosite	15	R	Rhodonite
6	YR	Rhodochrosite	16	R	Rhodonite
7	YR	Rhodochrosite	17	R	Rhodochrosite
8	YR	Rhodochrosite	18	W	Albite
9	YR	Rhodonite	19	W	Albite
10	R	Rhodochrosite	20	B	Magnetite

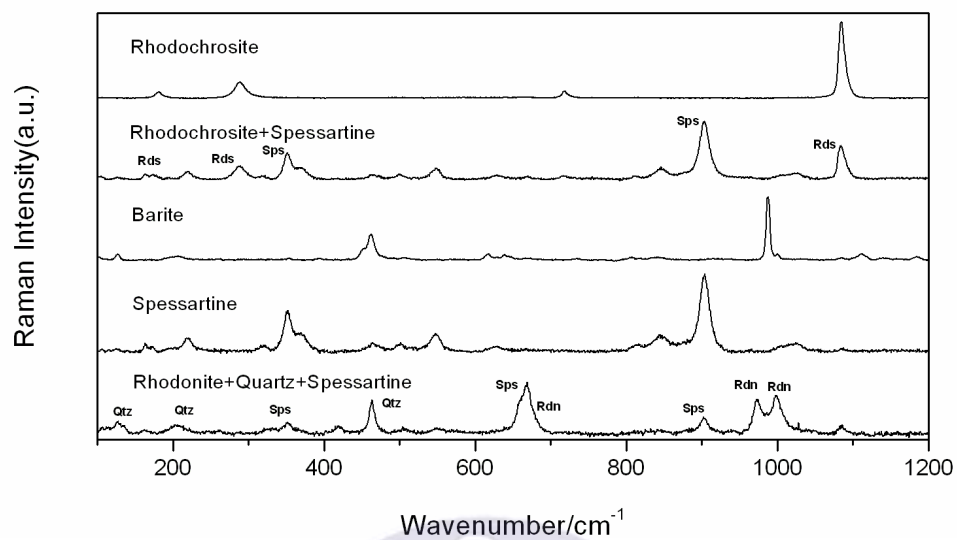


圖 3-42 C-3 拉曼光譜圖(1)

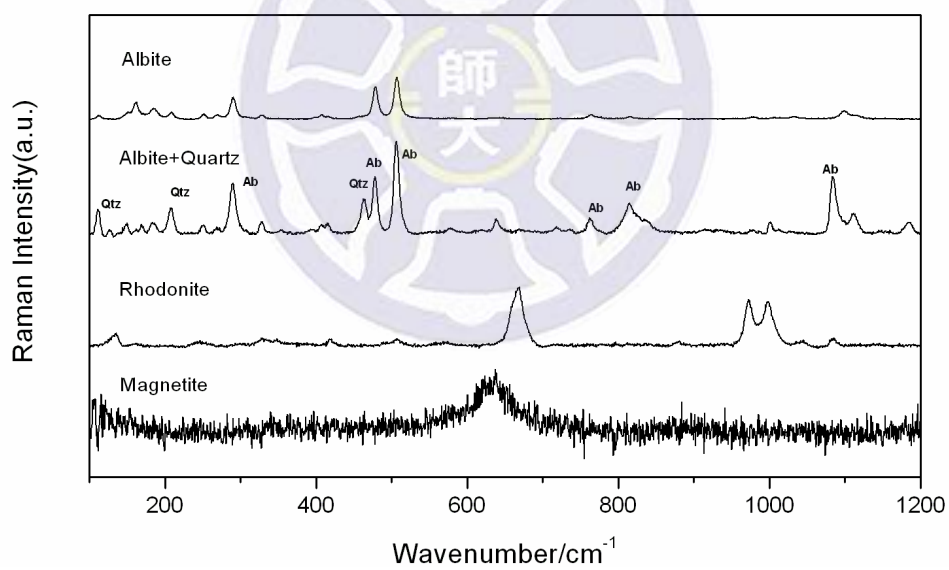


圖 3-43 C-3 拉曼光譜圖(2)

中國 C-4 標本：Y 色系佔 8%，YR 色系佔 10%，R 色系佔 44%，B 色系佔 35%，
W 色系佔 3%，其中 YR 色系以菱錳礦為主，R 色系以薔薇輝石
及菱錳礦為主，W 色系之礦物相為重晶石(表 3-16)。

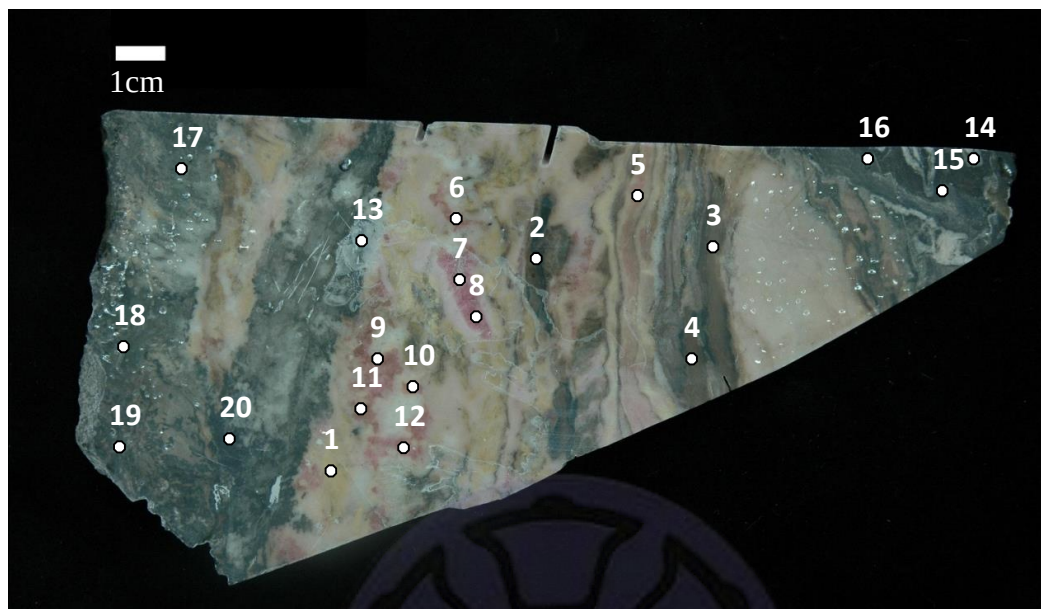


圖 3-44 C-4 拉曼光譜分析位置

表 3-16 C-4 拉曼光譜分析結果

色系			比例		
Y			8		
YR			10		
R			44		
B			35		
W			3		
總計			100.0		
Site	Color	Mineral	Site	Color	Mineral
1	Y	Quartz	11	R	Rhodonite
2	YR	Rhodochrosite	12	R	Rhodonite
3	YR	Rhodochrosite	13	W	Barite
4	R	Rhodochrosite	14	B	Kutnohorite
5	R	Rhodonite	15	B	Quartz+Magnetite
6	R	Rhodochrosite	16	B	Quartz
7	R	Quartz+Rhodochrosite	17	B	Magnetite
8	R	Rhodonite	18	B	Magnetite
9	R	Rhodonite	19	B	Magnetite
10	R	Rhodonite	20	B	Magnetite

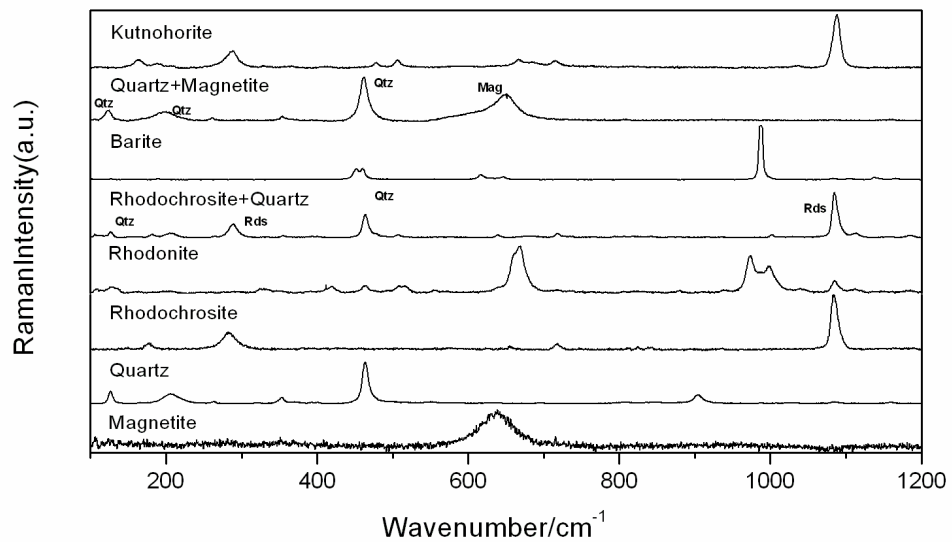


圖 3-45 C-4 拉曼光譜圖



中國 C-5 標本：R 色系佔 77%，B 色系佔 23%， R 及 B 色系皆以薔薇輝石、菱錳礦、石英為主(表 3-17)。

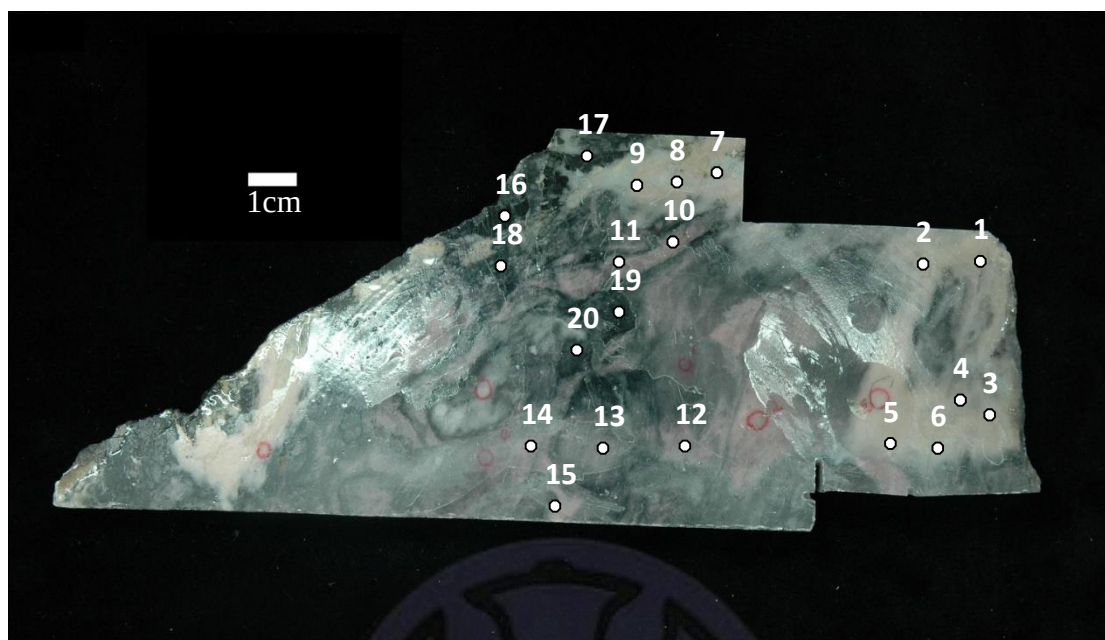


圖 3-46 C-5 拉曼光譜分析位置

表 3-17 C-5 拉曼光譜分析結果

色系			比例		
Y			0		
YR			0		
R			77		
B			23		
W			0		
總計			100		
Site	Color	Mineral	Site	Color	Mineral
1	R	Rhodonite	11	R	Quartz
2	R	Rhodochrosite	12	R	Quartz
3	R	Quartz	13	R	Rhodonite
4	R	Quartz	14	R	Rhodonite
5	R	Quartz	15	R	Rhodonite+Quartz
6	R	Rhodochrosite	16	B	Rhodochrosite
7	R	Rhodonite	17	B	Quartz+Rhodonite
8	R	Rhodonite	18	B	Magnetite
9	R	Quartz+Rhodonite	19	B	Magnetite
10	R	Quartz	20	B	Magnetite

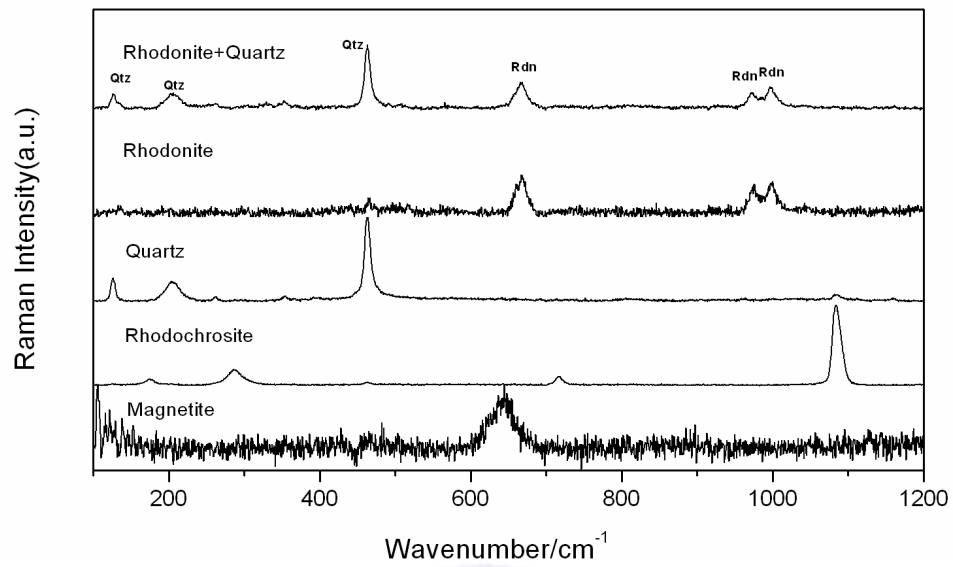


圖 3-47 C-5 拉曼光譜圖



中國 C-6 標本：Y 色系佔 56%，R 色系佔 6%，B 色系佔 38%，Y 色系以鋁榴石為主，B 色系以薔薇輝石、磁鐵礦為主(表 3-18)。

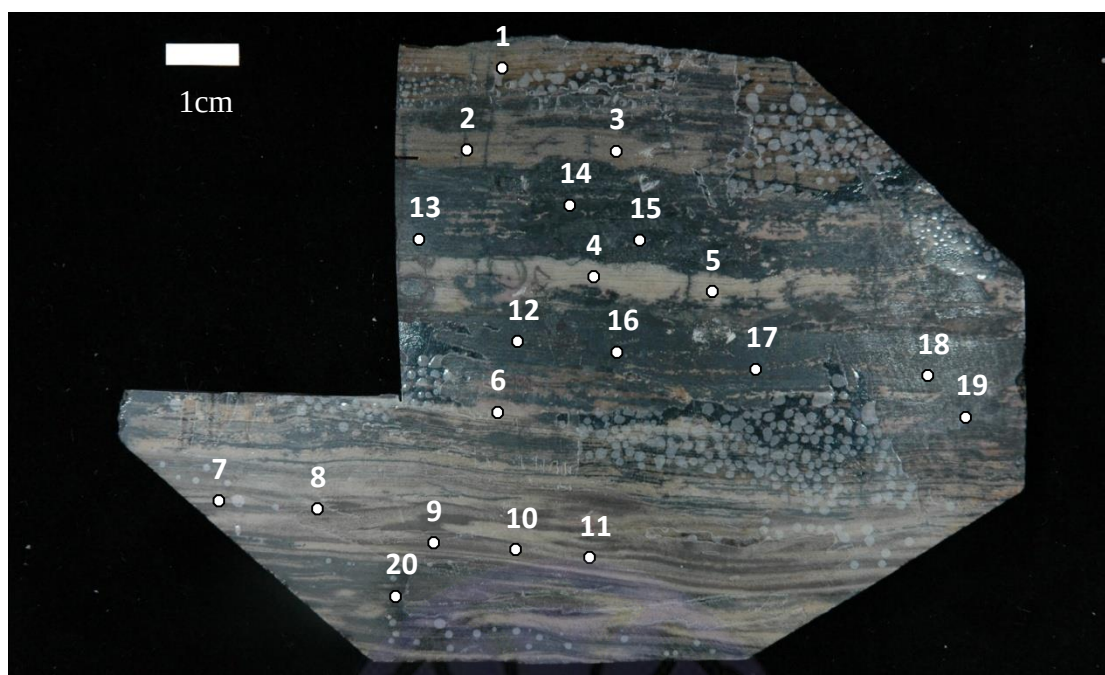


圖 3-48 C-6 拉曼光譜分析位置

表 3-18 C-6 拉曼光譜分析結果

色系			比例		
Y			56		
YR			0		
R			6		
B			38		
W			0		
總計			100		
Site	Color	Mineral	Site	Color	Mineral
1	Y	Spessartine+Quartz	11	Y	Spessartine
2	Y	Spessartine	12	R	Rhodonite
3	Y	Titanite	13	B	Rhodonite
4	Y	Spessartine	14	B	Pyroxmagnite
5	Y	Spessartine	15	B	Magnetite
6	Y	Rhodonite	16	B	Diopside
7	Y	Spessartine	17	B	Magnetite
8	Y	Quartz	18	B	Magnetite
9	Y	Spessartine	19	B	Magnetite
10	Y	Quartz	20	B	Magnetite

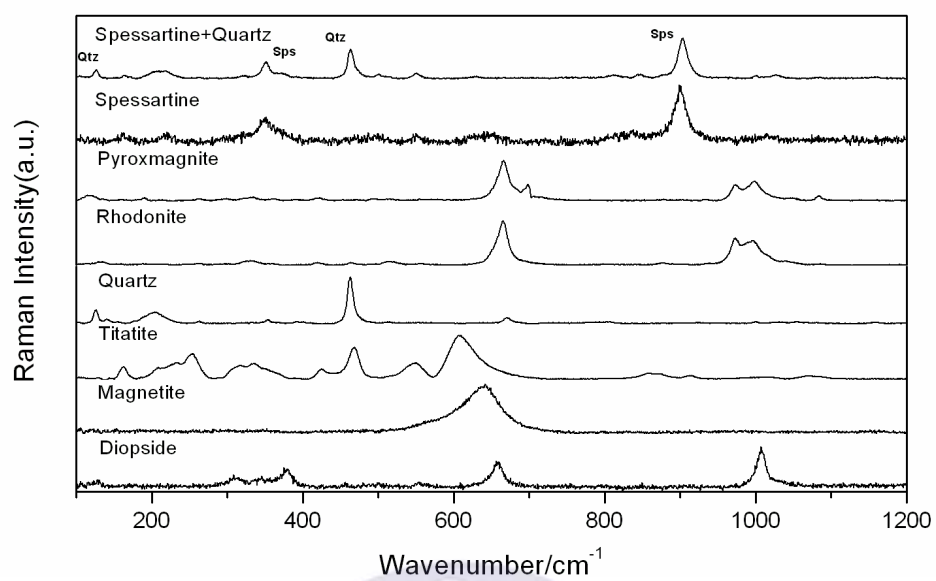


圖 3-49 C-6 拉曼光譜圖



中國 C-7 標本：Y 色系佔 20%，R 色系佔 53%，B 色系佔 27%，Y 色系以薔
薇輝石及錳鋁榴石為主，R 及 B 色系以薔薇輝石為主(表 3-19)。

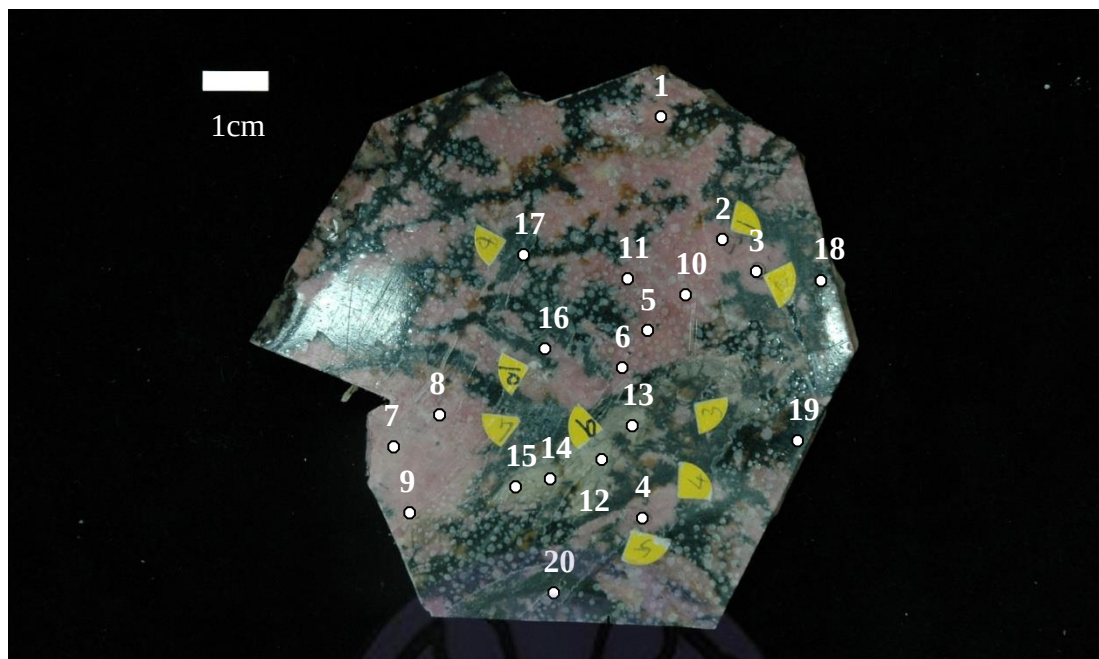


圖 3-50 C-7 拉曼光譜分析位置

表 3-19 C-7 拉曼光譜分析結果

色系			比例		
Y			20		
YR			0		
R			53		
B			27		
W			0		
總計			100		
Site	Color	Mineral	Site	Color	Mineral
1	R	Rhodonite	11	R	Rhodochrosite
2	R	Rhodonite	12	Y	Rhodonite
3	R	Rhodonite	13	Y	Rhodonite+Spessartine
4	R	Rhodonite	14	Y	Spessartine
5	R	Rhodonite	15	Y	Spessartine
6	R	Rhodonite	16	B	Rhodonite
7	R	Rhodonite+Spessartine	17	B	Rhodonite
8	R	Rhodonite	18	B	Rhodonite
9	R	Rhodonite	19	B	Actinolite
10	R	Rhodochrosite	20	B	Actinolite

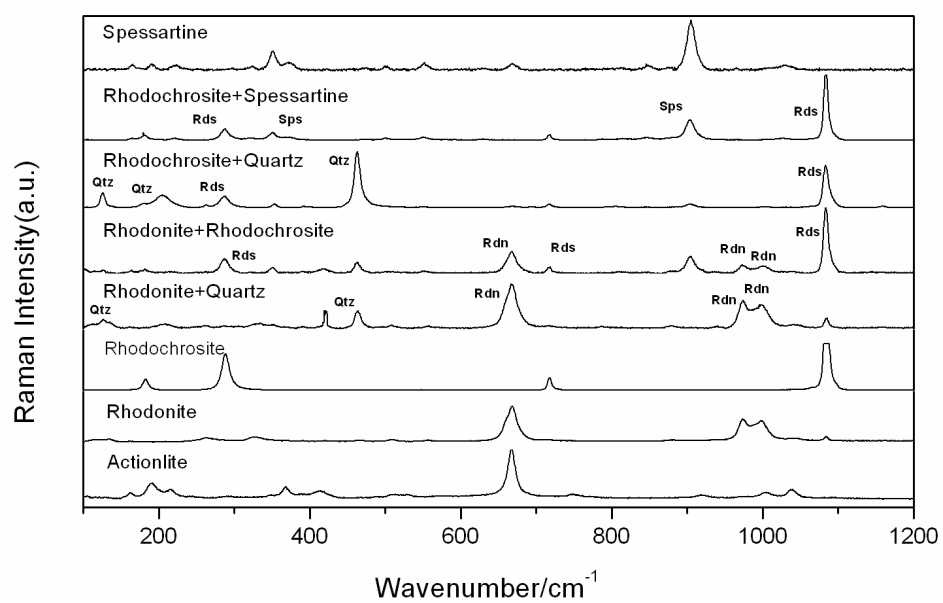


圖 3-51 C-7 拉曼光譜圖



中國 C-8 標本：YR 色系佔 9%，R 色系佔 56%，B 色系佔 35%， YR、R 色
系以薔薇輝石及錳鋁榴石為主，B 色系以錳鋁榴石為主(表 3-
20)。

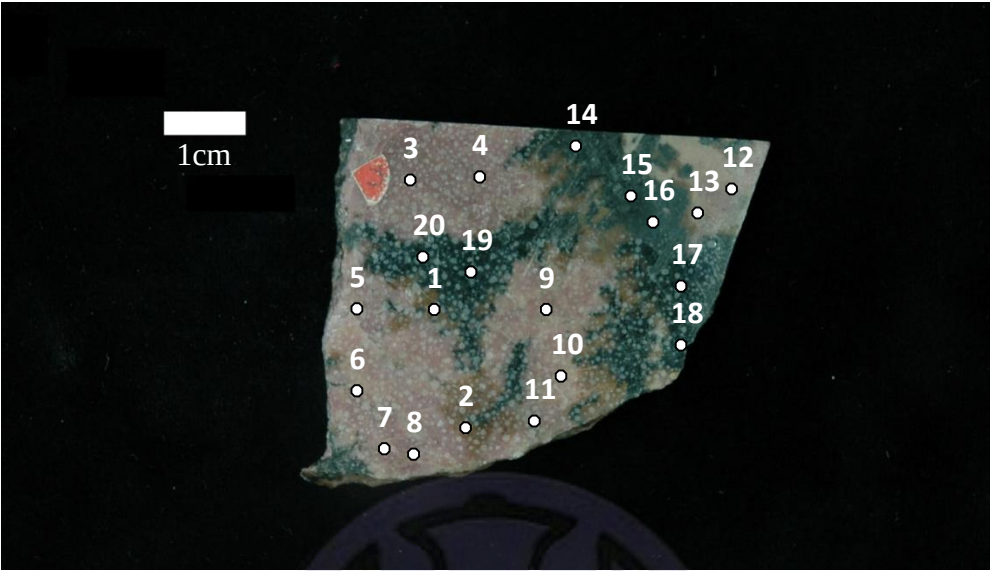


圖 3-52 C-8 拉曼光譜分析位置

表 3-20 C-8 拉曼光譜分析結果

色系			比例		
Y			0		
YR			9		
R			56		
B			35		
W			0		
總計			100		
Site	Color	Mineral	Site	Color	Mineral
1	YR	Rhodonite	11	R	Rhodonite
2	YR	Rhodonite+Spessartine	12	R	Rhodonite
3	R	Rhodonite	13	R	Rhodonite
4	R	Rhodonite	14	B	Spessartine
5	R	Rhodonite+Spessartine	15	B	Spessartine
6	R	Rhodonite	16	B	Spessartine
7	R	Rhodonite	17	B	Rhodonite
8	R	Rhodonite	18	B	Spessartine
9	R	Rhodonite	19	B	Spessartine
10	R	Rhodonite	20	B	Spessartine

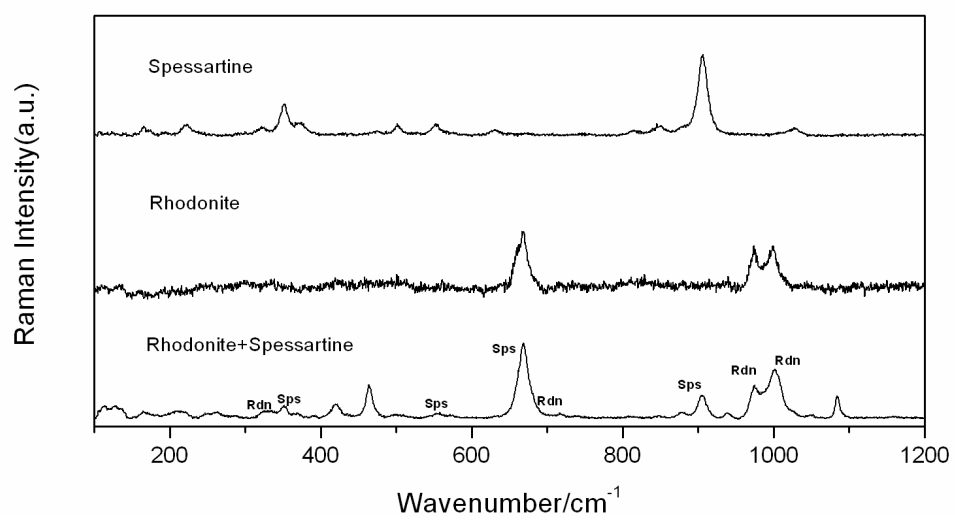


圖 3-53 C-8 拉曼光譜圖



中國 C-9 標本：Y 色系佔 40%，R 色系佔 16%，B 色系佔 44%，Y 色系以石英為主，R 色系以薔薇輝石為主，B 色系以磁鐵礦為主要礦物(表 3-21)。

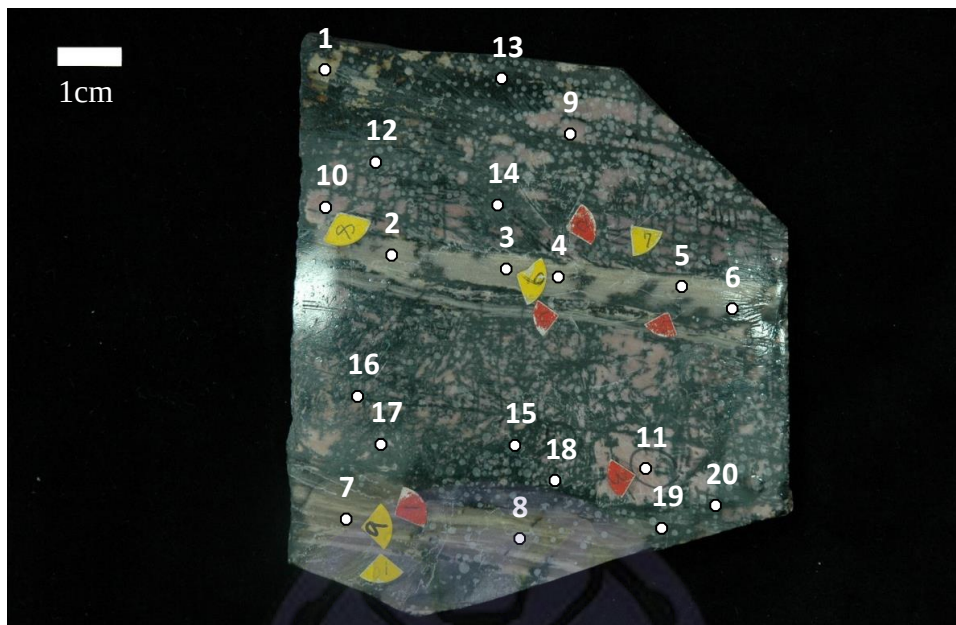


圖 3-54 C-9 拉曼光譜分析位置

表 3-21 C-9 拉曼光譜分析結果

色系			比例		
Y			40		
YR			0		
R			16		
B			44		
W			0		
總計			100		
Site	Color	Mineral	Site	Color	Mineral
1	Y	Quartz	11	R	Rhodonite
2	Y	Quartz	12	B	Diopside
3	Y	Quartz	13	B	Magnetite
4	Y	Quartz	14	B	Rhodonite
5	Y	Quartz	15	B	Magnetite
6	Y	Quartz	16	B	Magnetite
7	Y	Quartz	17	B	Magnetite
8	Y	Quartz	18	B	Magnetite
9	R	Rhodonite	19	B	Magnetite
10	R	Rhodonite	20	B	Magnetite

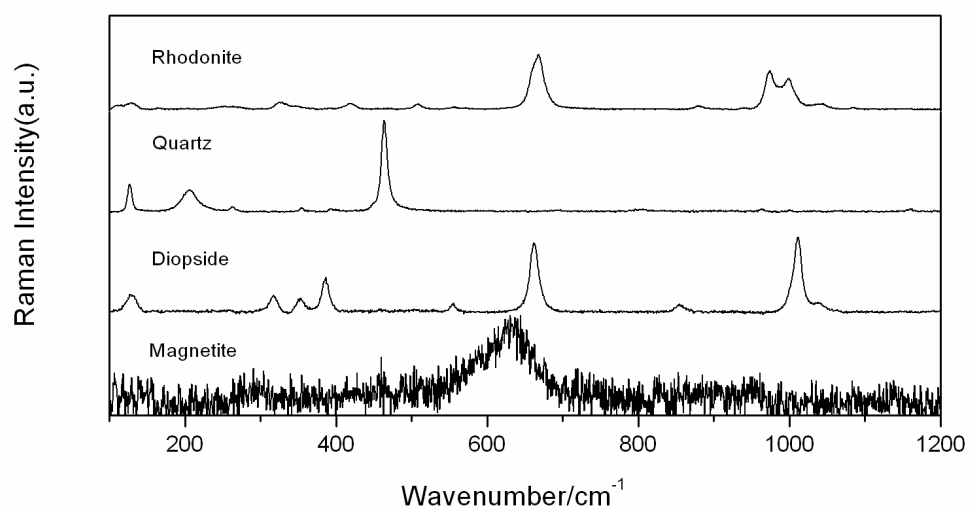


圖 3-55 C-9 拉曼光譜圖



中國 C-10 標本：R 色系佔 77%，B 色系佔 23%， R 色系以薔薇輝石為主，B 色系以磁鐵礦為主。(表 3-22)。

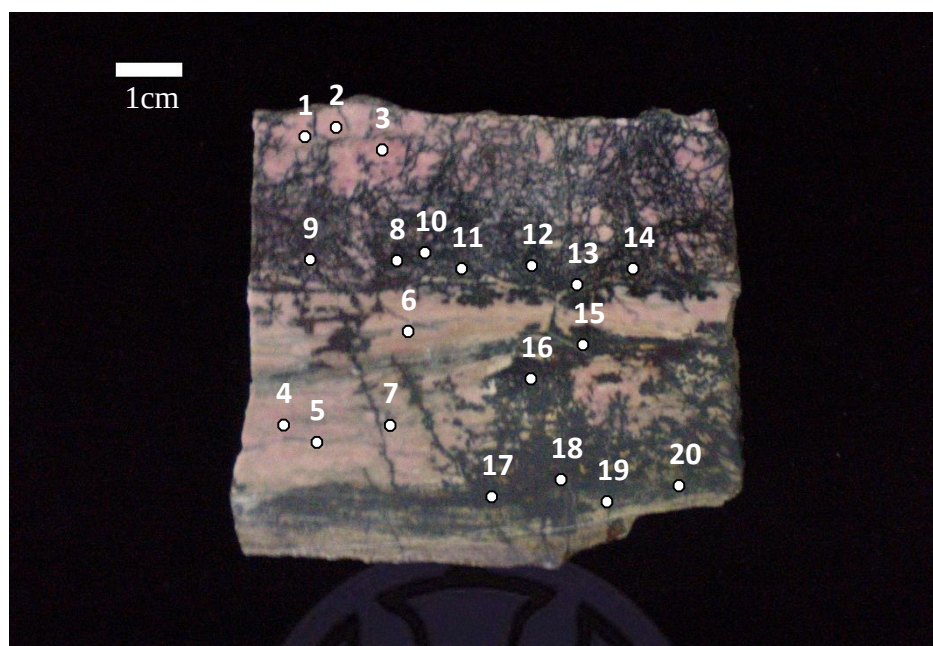


圖 3-56 C-10 拉曼光譜分析位置

表 3-22 C-10 拉曼光譜分析結果

色系			比例		
Y			0		
YR			0		
R			37		
B			63		
W			0		
總計			100		
Site	Color	Mineral	Site	Color	Mineral
1	R	Rhodonite	11	B	Rhodonite
2	R	Pyroxmangite+Quartz	12	B	Rhodonite
3	R	Rhodonite	13	B	Rhodonite
4	R	Rhodonite	14	B	Magnetite
5	R	Rhodonite	15	B	Magnetite
6	R	Rhodonite	16	B	Magnetite
7	R	Rhodonite	17	B	Magnetite
8	B	Magnetite	18	B	Magnetite
9	B	Pyroxmangite	19	B	Magnetite
10	B	Magnetite	20	B	Magnetite

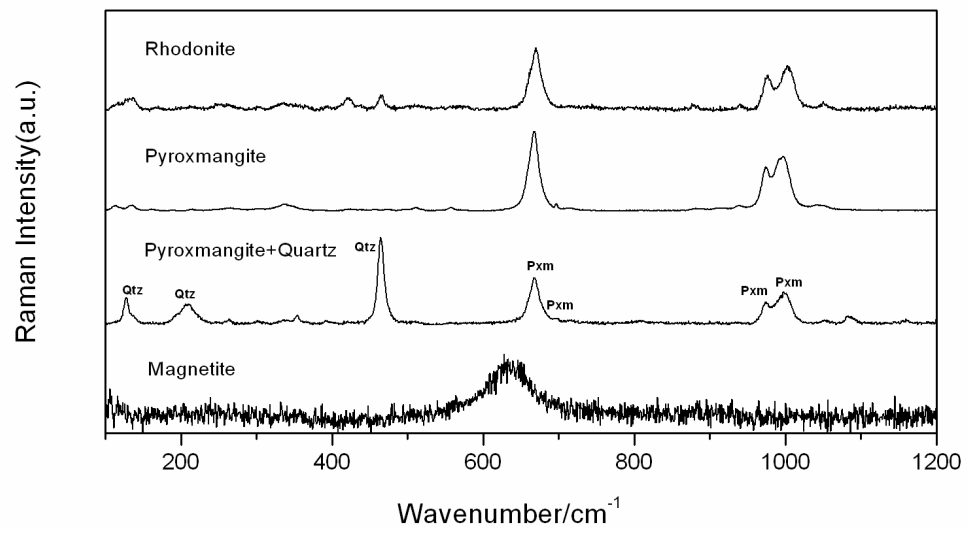


圖 3-57 C-10 拉曼光譜圖



巴西 B-1 標本：R 色系佔 30%，B 色系佔 65%，W 色系佔 5%， R 色系以薔薇輝石為主，B 色系以陽起石為主，W 色系為透輝石(表 3-23)。

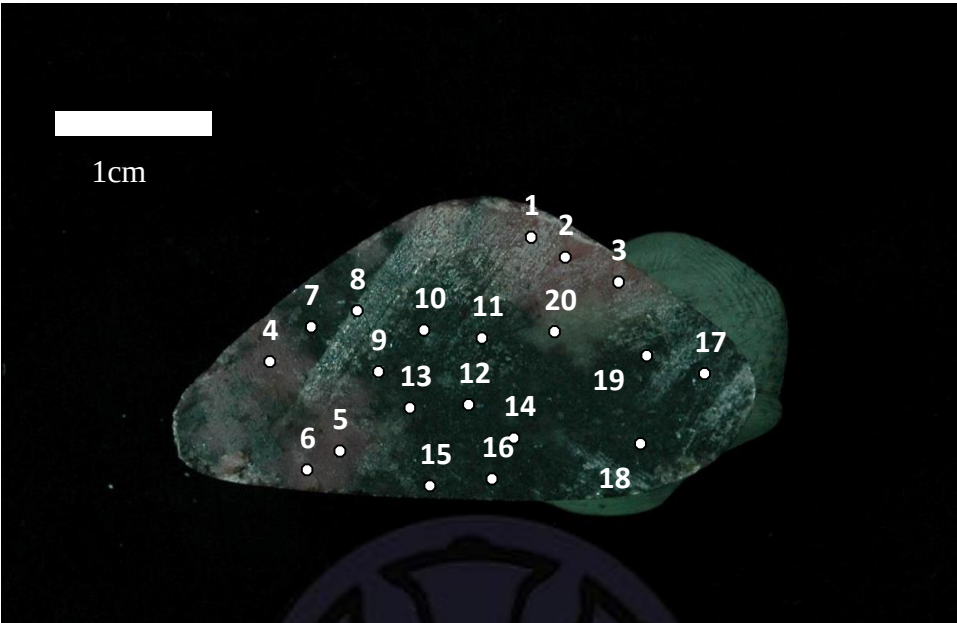


圖 3-58 B-1 拉曼光譜分析位置

表 3-23 B-1 拉曼光譜分析結果

色系			比例		
Y			0		
YR			0		
R			30		
B			65		
W			5		
總計			100		
Site	Color	Mineral	Site	Color	Mineral
1	R	Rhodonite	11	B	Calcite
2	R	Rhodonite	12	B	Actinolite
3	R	Pyroxmangite	13	B	Actinolite
4	R	Rhodonite	14	B	Diopside
5	R	Rhodonite	15	B	Actinolite
6	R	Rhodonite	16	B	Actinolite
7	B	Diopside	17	B	Actinolite
8	B	Actinolite	18	B	Actinolite
9	B	Diopside	19	B	Actinolite
10	B	Actinolite	20	W	Diopside

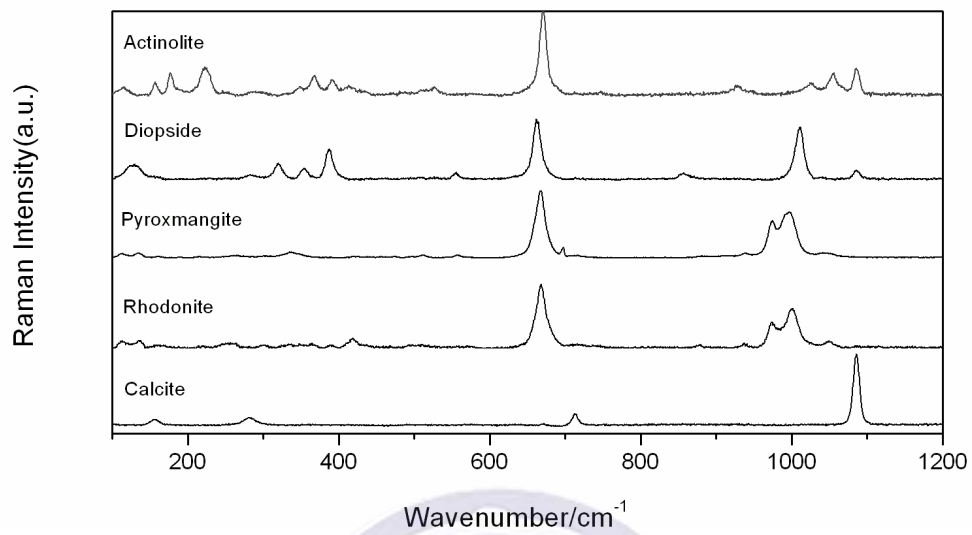


圖 3-59 B-1 拉曼光譜圖



巴西 B-2 標本：R 色系佔 24%，B 色系佔 18%，W 色系佔 58%， R 色系以薔
 薇輝石為主，W 色系之礦物相為透輝石及鈣薔薇輝石(表 3-24)。

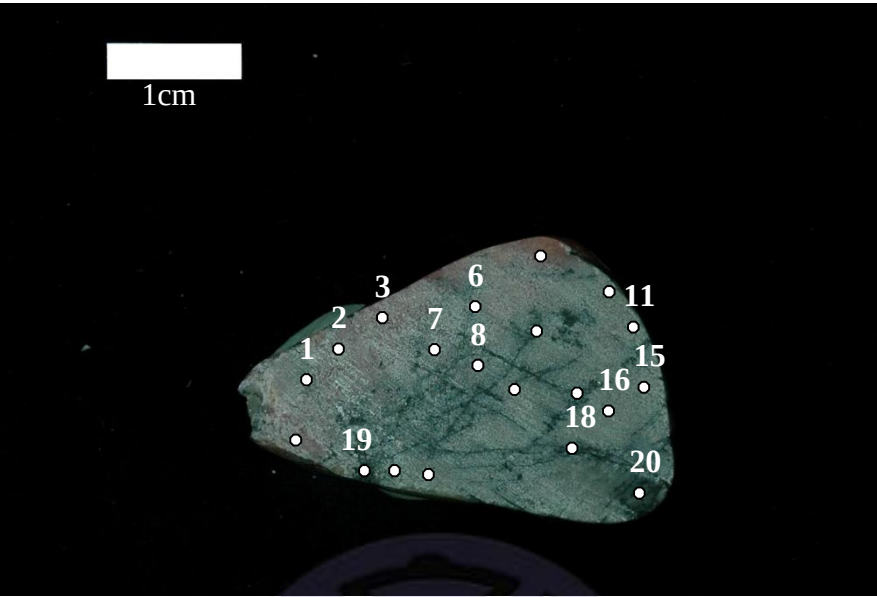


圖 3-60 B-2 拉曼光譜分析位置

表 3-24 B-2 拉曼光譜分析結果

色系			比例		
Y			0		
YR			0		
R			24		
B			18		
W			58		
總計			100		
Site	Color	Mineral	Site	Color	Mineral
1	R	Rhodonite	11	W	Diopside
2	R	Rhodonite	12	W	Bustamite
3	R	Rhodonite	13	W	Diopside
4	R	Rhodochrosite	14	W	Diopside
5	R	Rhodonite	15	W	Diopside
6	W	Diopside	16	W	Diopside
7	W	Diopside	17	B	Diopside
8	W	Diopside	18	B	Rhodonite
9	W	Diopside	19	B	Diopside
10	W	Diopside	20	B	Magnetite

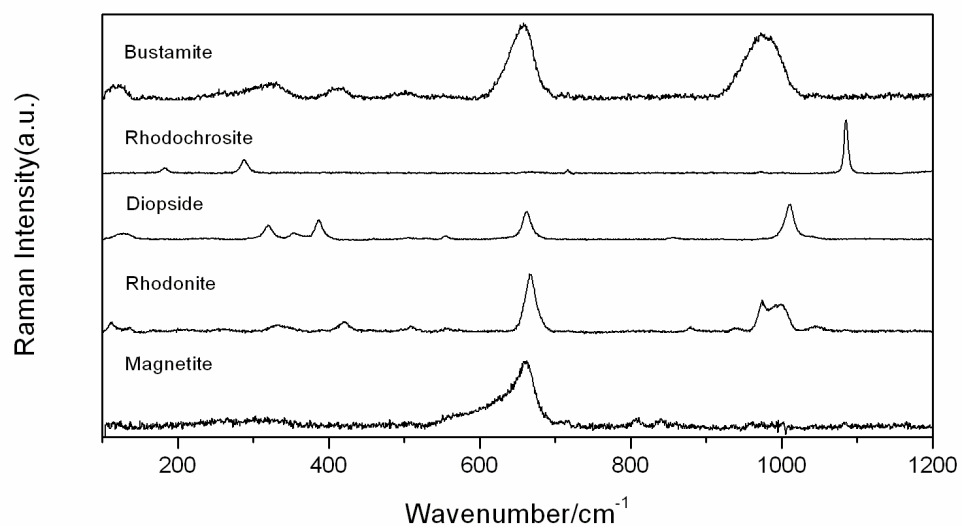


圖 3-61 B-2 拉曼光譜圖



巴西 B-3 標本：YR 色系佔 6%，R 色系佔 42%，B 色系佔 52%，YR 色系為薔薇輝石及菱錳礦，R 色系以薔薇輝石為主，B 色系之礦物相為磁鐵礦、錳鋁榴石及陽起石。

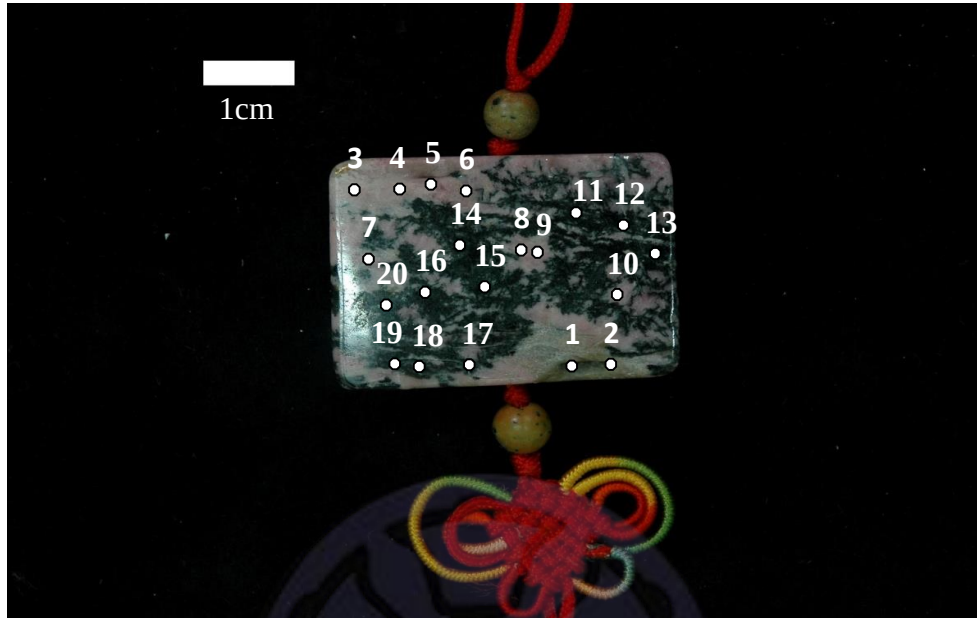


圖 3-62 B-3 拉曼光譜分析位置

表 3-25 B-3 拉曼光譜分析結果

色系			比例		
Y			0		
YR			6		
R			42		
B			52		
W			0		
總計			100		
Site	Color	Mineral	Site	Color	Mineral
1	YR	Rhodochrosite	11	B	Magnetite
2	YR	Rhodonite	12	B	Magnetite
3	R	Rhodonite	13	B	Rhodonite
4	R	Rhodonite	14	B	Rhodonite
5	R	Rhodonite	15	B	Spessartine
6	R	Rhodonite	16	B	Actinolite
7	R	Rhodonite	17	B	Actinolite
8	R	Rhodonite	18	B	Spessartine
9	R	Rhodonite	19	B	Actinolite
10	R	Rhodonite	20	B	Actinolite

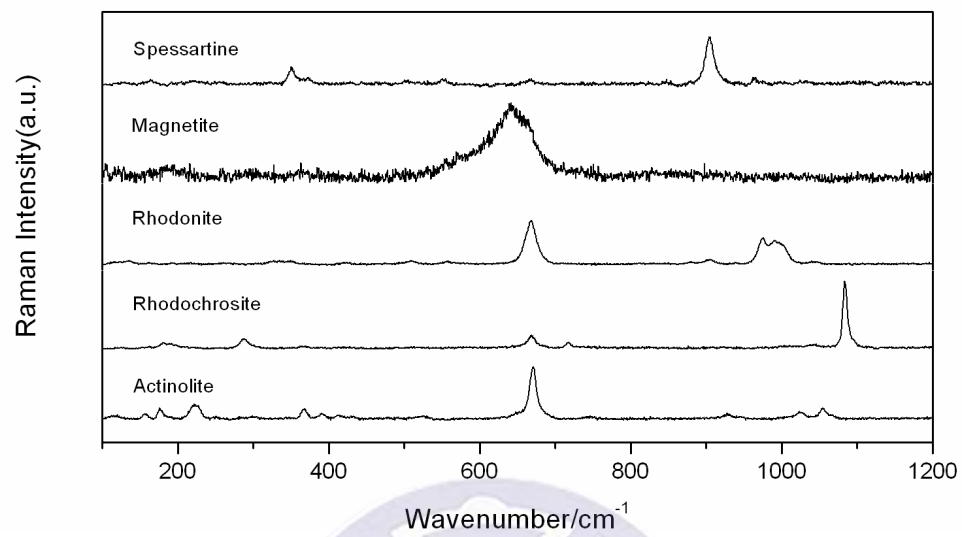


圖 3-63 B-3 拉曼光譜圖

3-3-2 各產地之礦物相分布

1. 各產地礦物分布結果

本研究之礦物相主要經由 X 光粉末繞射儀及拉曼光譜儀分析結果之統整。由於 X 光粉末繞射儀分析的標本量較拉曼光譜儀少，所以最終結果所得到的礦物相種類相較於拉曼光譜儀少了許多。但玫瑰石中含量較多的礦物皆在兩種分析方法中出現。

將全部標本的拉曼分析結果依加權平均計算出現機率（圖 3-63），出現機率不到 1% 的礦物省略。在三個產地之所有標本中，所分析到的含錳礦物有薔薇輝石、菱錳礦、錳鋁榴石、錳輝石及錳白雲石，這些含錳礦物出現的機率為共 55%，石英出現機率為 23%，磁鐵礦為 10%。

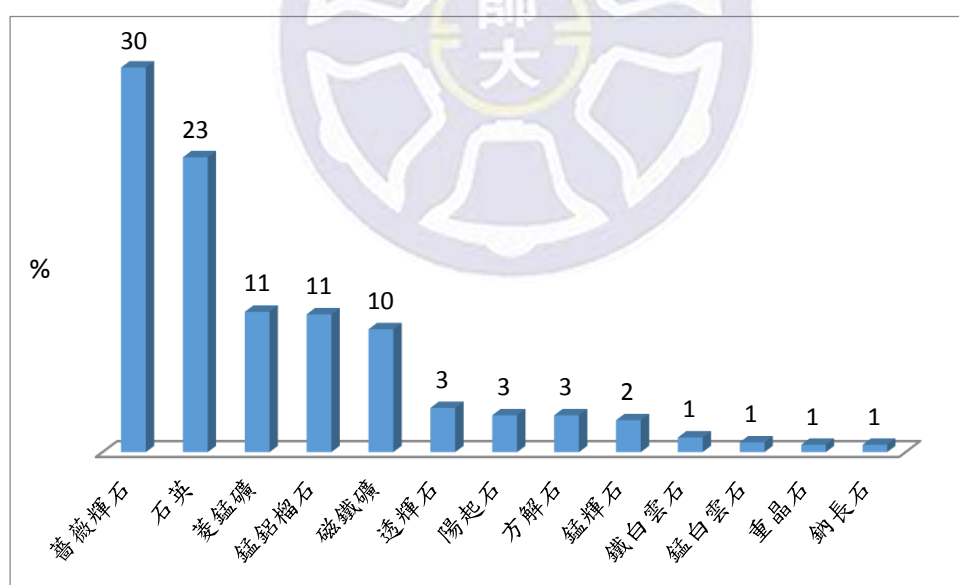


圖 3-64 本研究標本礦物相出現之機率

三個產地的拉曼分析結果也略有不同，其中台灣部份(圖 3-64)出現的礦物相，由多到少依序為石英(34%)、薔薇輝石(26%)、菱錳礦(16%)、錳鋁榴石(9%)、方解石(6%)、磁鐵礦(5%)、鐵白雲石(3%)、錳輝石(1%)及錳白雲石(1%)。中國(圖 3-65)出現的礦物相由多到少依序為薔薇輝石(35%)、錳鋁榴石(17%)、磁鐵礦(15%)、石英(14%)、菱錳礦(8%)、錳輝石(5%)、鈉長石(1%)、陽起石(1%)、透輝石(1%)、錳白雲石(1%)、重晶石(1%)。巴西(圖 3-66)出現的礦物相由多到少分別為薔薇輝石(36%)、透輝石(28%)、陽起石(22%)、磁鐵礦(5%)、菱錳礦(3%)、錳鋁榴石(3%)、鈣薔薇輝石(2%)。大部份礦物相在各地區皆有發現，只有少部份礦物在單一地區出現，如鐵白雲石、白雲石、鉻鉛礦只有在台灣出現，綠泥石、鈦鐵礦、直閃石、鈉長石只在中國出現，而鈣薔薇輝石則只在巴西發現。



圖 3-65 台灣產玫瑰石礦物相出現之機率

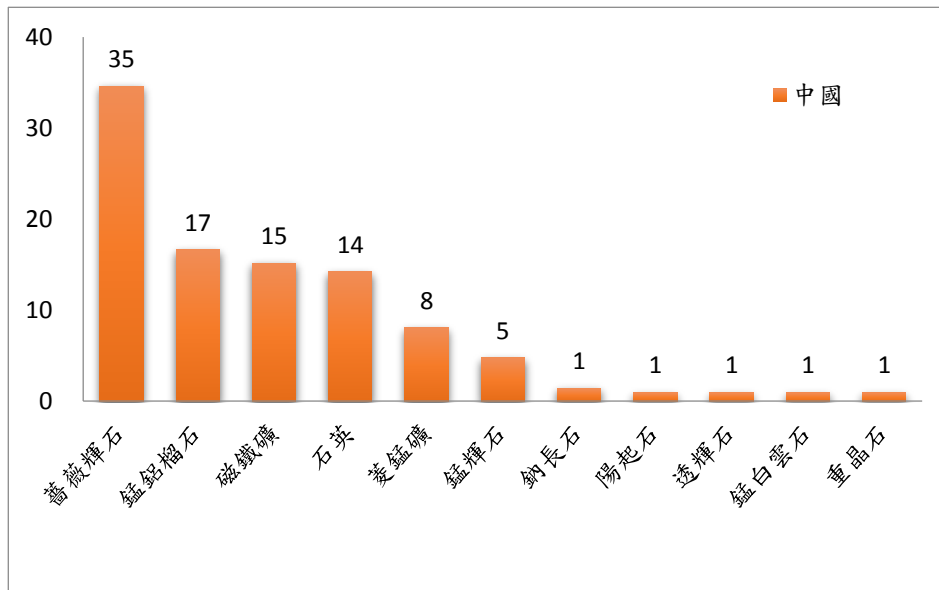


圖 3-66 中國產玫瑰石礦物相出現之機率

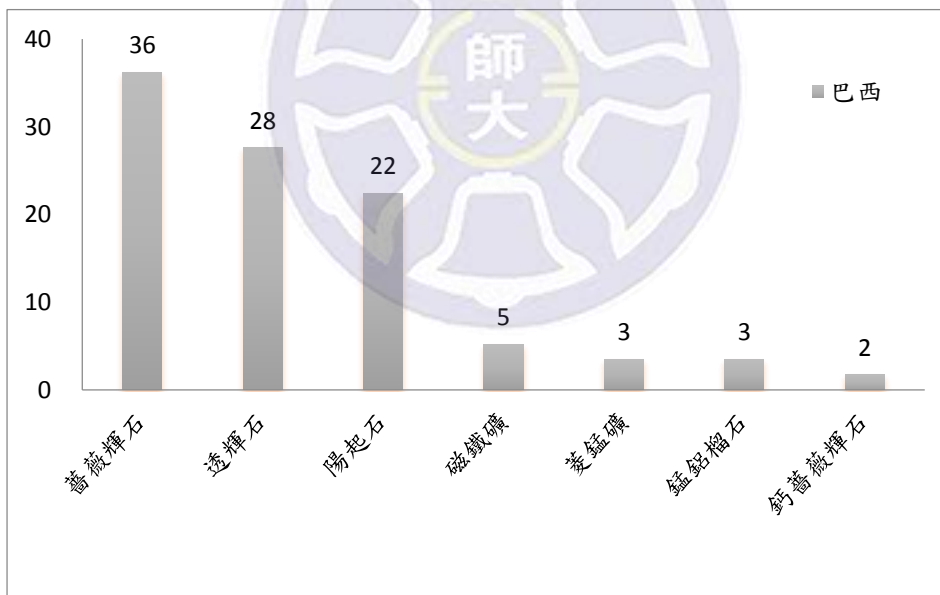


圖 3-67 巴西產玫瑰石礦物相出現之機率

2. 三個產地中各色系含量最高的礦物相

在台灣產地中(表 3-26)，Y、B、W 色系含量最高的礦物為石英，YR 色系為菱錳礦，R 色系為薔薇輝石。在中國產地中(表 3-27)，Y 色系含量最多的是

錳鋁榴石，YR 色系則是菱錳礦，R 色系是薔薇輝石，B 色系是磁鐵礦，W 色系是石英。在巴西產地中(表 3-28)，YR、R 色系含量最多的是薔薇輝石，B 色系含量最多的是陽起石，W 色系含量最多的則是透輝石。

綜合以上結果可以得知，三個產地唯一有相同色系及相同礦物相的是 R 色系的薔薇輝石，所以在後續化學成份的分析裡也會以此結果作為分析的依據。

表 3-26 台灣標本各色系礦物相之排名

礦物相 色系		各礦物相含量多寡由左至右排序							
孟 賽 爾 色 序 系 統	Y(%)	46.4	21.4	14.3	10.7	7.1			
		錳鋁榴石	鐵白雲石	菱錳礦	石英	銳鈦礦			
	YR(%)	42.9	28.6	14.3	9.5	4.8			
		薔薇輝石	石英	菱錳礦	方解石	錳輝石	錳白雲石	鉻鉛礦	錳鋁榴石
	R(%)	50.5	21.9	17.1	3.8	1.9	1.9	1.9	1.0
		石英	磁鐵礦	菱錳礦	方解石	錳鋁榴石	薔薇輝石	白雲石	
	B(%)	40.9	19.7	13.6	10.6	7.6	6.1	1.5	
		石英	方解石	重晶石					
	W(%)	90.9	4.5	4.5					

表 3-27 中國標本各色系礦物相之排名

礦物相 色系		各礦物相含量多寡由左至右排序									
孟 賽 爾 色 序 系 統	Y(%)	44.1	35.3	8.8	5.9	2.9	2.9				
		菱錳礦	錳輝石	薔薇輝石	錳鋁榴石	重晶石					
	YR(%)	42.1	21.1	15.8	15.8	5.3					
		薔薇輝石	石英	菱錳礦	錳鋁榴石	錳輝石	錳白雲石	鈉長石			
	R(%)	64.8	14.8	10.2	4.5	3.4	1.1	1.1			
		磁鐵礦	錳鋁榴石	薔薇輝石	石英	錳輝石	透輝石	陽起石	菱錳礦	錳白雲石	直閃石
	B(%)	46.6	17.8	15.1	6.8	4.1	2.7	2.7	1.4	1.4	1.4
		石英	鈉長石	重晶石							
	W(%)	57.1	28.6	14.3							

表 3-28 巴西標本各色系礦物相之排名

礦物相 色系		各礦物相含量多寡由左至右排序					
		薔薇輝石	菱錳礦				
孟 賽 爾 色 序 系 統	YR(%)	50.0	50.0				
		薔薇輝石	菱錳礦	錳輝石			
	R(%)	89.5	5.3	5.3			
		陽起石	透輝石	薔薇輝石	磁鐵礦	錳鋁榴石	方解石
	B(%)	46.4	21.4	10.7	10.7	7.1	3.6
		透輝石	鈣薔薇輝石				
	W(%)	90.9	9.1				

3. 三個產地與前人研究之礦物相比較

從表 3-29 可知，台灣產地經本研究檢測出 14 種礦物，分別為薔薇輝石、石英、菱錳礦、錳鋁榴石、方解石、磁鐵礦、白雲石、鐵白雲石、錳白雲石、錳輝石、錳橄欖石、鉻鉛礦、重晶石、銳鈦礦。中國產玫瑰石共發現 14 種礦物，分別為薔薇輝石、石英、菱錳礦、錳鋁榴石、錳輝石、錳白雲石、磁鐵礦、鈉長石、透輝石、陽起石、重晶石、綠泥石、直閃石、鈦鐵礦。巴西產玫瑰石共發現 9 種礦物，分別為薔薇輝石、鈣薔薇輝石、菱錳礦、錳鋁榴石、錳輝石、透輝石、陽起石、磁鐵礦、方解石。

綜合前人文獻和本研究之結果，總共發現 30 種不同礦物相，其中薔薇輝石、錳輝石、錳鋁榴石在前人文獻及本研究中皆有發現。本研究中，三個產地有 5 種相同礦物相，分別為薔薇輝石、菱錳礦、錳輝石、錳鋁榴石、磁鐵礦。

另外，鈣薔薇輝石、錳橄欖石、白雲石、陽起石、鈉長石、直閃石、重晶石、鉻鉛礦、銳鈦礦、鈦鐵礦是前人文獻中未發現的礦物；而軟錳礦、硬錳礦、褐錳礦、正長石、黃鐵礦、鉍長石、白雲母、綠簾石及石棉為本研究未檢測到之礦物。

表 3-29 本研究與前人研究礦物相之比較

礦物名稱	前人研究			本研究		
	翁林廷彬 ，2009	方建能 ，1998	郭奇龍等 ，1995	台灣	中國	巴西
薔薇輝石	0	0	0	0	0	0
鈣薔薇輝石						0
錳輝石	0	0	0	0	0	0
菱錳礦		0	0	0	0	0
錳鋁榴石	0	0	0	0	0	0
錳橄欖石				0		
錳白雲石	0	0	0	0	0	
鐵白雲石	0		0	0		
白雲石				0		
軟錳礦		0	0			
黑錳礦		0	0			
褐錳礦		0	0			
石英	0	0	0	0	0	
陽起石					0	0
透輝石	0				0	0
方解石	0	0		0		0
鈉長石					0	
正長石		0	0			
直閃石					0	
磁鐵礦			0	0	0	0
黃鐵礦			0			
鉬長石		0				
重晶石				0	0	
白雲母		0				
鉻鉛礦				0		
銳鈦礦				0		
鈦鐵礦					0	
綠泥石	0	0	0		0	
綠簾石	0	0				
石棉	0	0	0			
礦物相總數	11	16	15	14	14	9

3-4 能量散射光譜儀分析

經由 X 光粉末繞射、拉曼光譜儀分析，得到各標本大致的礦物組成後，發現含量最多且在台灣、中國、巴西皆出現的礦物為 R 色系中的薔薇輝石，因此，利用掃描式電子顯微鏡，及其附加的能量分散光譜儀，來觀察及分析三個地區薔薇輝石的化學成份，進一步比較不同產地標本的異同。

3-4-1 各產地薔薇輝石之化學成分分析結果

此標本分析先經拉曼光譜儀確認為薔薇輝石後，再經由掃描式電子顯微鏡及能量分散光譜儀分析，每個分析位置附近分析3點以上，每個樣本之薔薇輝石分析約10個不同位置，經過篩選再將可用之數據算其平均，台灣及中國各分析4個標本，巴西分析2個標本，共10個標本，各點化學成分分析及陽離子結果列如表3-29至表3-38。

表 3-30 T-4 之薔薇輝石所含化學成分與陽離子數

Site	T-4-1	T-4-2	T-4-3	T-4-4	T-4-5	T-4-6	T-4-7	T-4-8	T-4-9	T-4-10
Avg. of	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
SiO ₂	48.20	47.50	47.48	47.26	45.16	46.10	48.77	50.25	50.08	49.75
MnO	33.93	34.15	33.44	34.24	29.55	33.56	32.69	35.02	36.61	35.77
CaO	6.43	5.95	6.87	6.37	6.32	4.50	6.58	6.52	6.51	5.90
Total	88.56	87.60	87.79	87.87	81.03	84.16	88.04	91.79	93.20	91.42
O=	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Si	1.101	1.085	1.085	1.080	1.032	1.053	1.114	1.148	1.144	1.137
Mn	0.657	0.661	0.647	0.663	0.572	0.649	0.633	0.678	0.708	0.692
Ca	0.157	0.146	0.168	0.156	0.155	0.110	0.161	0.160	0.159	0.144
Total	1.915	1.892	1.900	1.899	1.759	1.812	1.908	1.986	2.011	1.973

表 3-31 T-7 之薔薇輝石所含化學成分與陽離子數

Site	T-7-1	T-7-2	T-7-3	T-7-4	T-7-5	T-7-6	T-7-7	T-7-8	T-7-9	T-7-10
Avg. of	3	2	3	3	3	3	2	3	3	2
SiO ₂	45.88	44.19	50.10	45.37	44.63	46.08	47.18	47.08	44.17	50.18
MnO	37.28	33.33	33.77	38.30	40.83	38.13	31.29	35.82	38.14	39.48
CaO	5.84	4.80	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	5.15
Total	89.00	82.32	83.87	83.67	85.46	84.21	78.47	82.90	82.31	94.81
O=	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Si	1.066	1.109	1.236	1.121	1.078	1.131	1.125	1.173	1.108	1.094
Mn	0.910	0.880	0.873	0.994	1.039	0.983	0.990	0.939	1.007	0.905
Ca	0.180	0.160	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.149
Total	2.156	2.149	2.109	2.115	2.117	2.114	2.115	2.112	2.115	2.148

表 3-32 T-8 之薔薇輝石所含化學成分與陽離子數

Site	T-8-1	T-8-2	T-8-3	T-8-4	T-8-5	T-8-6	T-8-7	T-8-8	T-8-9	T-8-10
Avg. of	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3
SiO ₂	39.12	46.52	42.97	41.60	42.18	41.88	46.07	42.46	41.31	42.27
FeO	0.79	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
MgO	0.90	0.69	0.82	0.96	0.88	0.84	0.90	0.78	0.81	0.85
MnO	36.93	35.73	35.69	36.87	35.84	36.48	35.85	35.62	37.10	36.94
CaO	3.87	3.51	4.20	3.84	4.19	3.87	3.44	4.40	4.04	3.84
Total	81.59	86.44	83.69	83.27	83.08	83.07	86.26	83.26	83.26	83.90
O=	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Si	1.015	1.140	1.087	1.058	1.075	1.068	1.132	1.080	1.051	1.067
Fe	0.017	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Mg	0.055	0.025	0.031	0.036	0.033	0.032	0.033	0.030	0.031	0.032
Mn	0.812	0.741	0.765	0.794	0.774	0.787	0.744	0.767	0.799	0.790
Ca	0.108	0.092	0.114	0.105	0.114	0.106	0.090	0.120	0.110	0.104
Total	2.007	1.998	1.997	1.993	1.996	1.993	2.009	1.997	1.991	1.993

表 3-33 T-9 之薔薇輝石所含化學成分與陽離子數

Site	T-9-1	T-9-2	T-9-3	T-9-4	T-9-5	T-9-6	T-9-7	T-9-8	T-9-9	T-9-10	T-9-11
Avg. of	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	2
SiO ₂	49.47	45.89	47.53	48.24	49.20	48.95	47.73	45.28	48.93	47.35	45.43
Al ₂ O ₃	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
MgO	1.71	1.41	1.55	1.50	1.72	1.61	1.67	1.65	1.74	1.65	1.42
MnO	34.49	31.73	31.98	34.14	34.41	31.53	34.13	29.39	32.31	31.03	31.85
CaO	4.00	4.83	3.90	4.02	4.30	4.78	4.06	5.20	4.49	3.81	4.23
Total	89.67	83.86	84.96	87.90	89.63	86.87	87.59	81.52	87.47	83.84	82.93
O=	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Si	1.100	1.093	1.108	1.097	1.096	1.111	1.092	1.100	1.107	1.114	1.095
Mg	0.057	0.050	0.054	0.051	0.057	0.055	0.057	0.060	0.059	0.058	0.051
Mn	0.649	0.640	0.632	0.657	0.649	0.606	0.661	0.605	0.619	0.618	0.650
Ca	0.095	0.123	0.097	0.098	0.102	0.116	0.099	0.135	0.109	0.096	0.109
Total	1.901	1.906	1.891	1.903	1.904	1.888	1.909	1.900	1.894	1.886	1.905

表 3-34 C-4 之薔薇輝石所含化學成分與陽離子數

Site	C-4-1	C-4-2	C-4-3	C-4-4	C-4-5	C-4-6	C-4-7	C-4-8	C-4-9	C-4-10
Avg. of	5	3	4	3	3	3	3	3	3	3
SiO ₂	45.77	45.75	46.09	47.49	46.32	46.26	46.54	44.64	43.60	45.54
FeO	0.76	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.29
MgO	1.24	1.17	1.17	1.09	1.26	1.31	1.32	1.31	1.40	1.29
MnO	34.33	33.96	34.27	34.71	33.60	35.18	34.85	33.47	33.36	34.29
CaO	3.50	3.99	3.69	3.83	4.14	3.89	3.76	3.95	3.87	4.03
Total	85.60	84.87	85.22	87.12	85.32	86.64	86.47	83.37	83.23	85.14
O=	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Si	1.086	1.082	1.090	1.123	1.104	1.094	1.101	1.056	1.031	1.077
Fe	0.006	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Mg	0.044	0.041	0.041	0.038	0.045	0.046	0.047	0.046	0.049	0.045
Mn	0.690	0.680	0.687	0.695	0.680	0.705	0.698	0.671	0.668	0.687
Ca	0.089	0.101	0.093	0.097	0.101	0.099	0.095	0.100	0.098	0.102
Total	1.915	1.904	1.910	1.953	1.930	1.944	1.941	1.873	1.846	1.911

表 3-35 C-7 之薔薇輝石所含化學成分與陽離子數

Site	C-7-1	C-7-2	C-7-3	C-7-4	C-7-5	C-7-6	C-7-7	C-7-8	C-7-9
Avg. of	2	2	3	2	3	3	3	2	2
SiO ₂	46.32	47.04	48.06	46.15	48.22	47.81	49.41	44.13	53.04
Al ₂ O ₃	0.00	0.13	0.00	0.00	0.00	1.36	0.00	0.00	0.00
FeO	0.00	3.07	0.00	3.59	3.26	0.00	0.00	3.68	5.50
MgO	2.96	3.26	3.23	2.79	2.85	2.77	3.47	2.72	3.37
MnO	27.99	27.30	28.91	29.93	27.24	28.09	30.16	30.65	32.32
CaO	5.73	4.32	4.42	3.44	4.56	4.70	4.75	3.93	5.79
Total	83.00	85.12	84.62	85.90	86.13	84.73	87.79	85.11	85.02
O=	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Si	1.074	1.064	1.087	1.048	1.077	1.061	1.080	1.024	1.040
Al	0.000	0.003	0.000	0.000	0.000	0.030	0.000	0.000	0.000
Fe	0.000	0.069	0.000	0.082	0.073	0.000	0.000	0.085	0.108
Mg	0.069	0.073	0.073	0.063	0.064	0.061	0.076	0.063	0.066
Mn	0.650	0.621	0.654	0.680	0.608	0.624	0.660	0.712	0.634
Ca	0.133	0.098	0.100	0.078	0.102	0.104	0.104	0.091	0.113
Total	1.926	1.928	1.914	1.951	1.924	1.880	1.920	1.975	1.961

表 3-36 C-8 之薔薇輝石所含化學成分與陽離子數

Site	C-8-1	C-8-2	C-8-3	C-8-4	C-8-5	C-8-6	C-8-7	C-8-8	C-8-9	C-8-10	C-8-11	C-8-12
Avg. of	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
SiO ₂	46.00	45.59	45.77	47.50	46.14	46.65	46.08	46.01	47.88	47.93	46.85	47.41
FeO	3.75	2.97	3.29	2.99	4.13	3.55	3.43	3.49	3.40	3.50	3.62	3.76
MgO	3.11	2.80	3.37	2.98	3.27	3.56	3.29	3.25	3.48	3.78	3.47	3.20
MnO	27.24	27.52	28.07	29.19	27.98	27.95	28.45	28.47	29.85	29.71	28.75	29.50
CaO	4.37	4.43	4.23	4.62	4.42	4.60	4.25	4.35	4.73	4.50	4.65	4.71
Total	84.47	83.31	84.73	87.28	85.94	86.31	85.50	85.57	89.34	89.42	88.41	88.58
O=	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Si	1.082	1.087	1.076	1.083	1.073	1.075	1.075	1.074	1.071	1.070	1.071	1.071
Fe	0.074	0.059	0.065	0.057	0.080	0.068	0.067	0.068	0.063	0.066	0.069	0.071
Mg	0.109	0.099	0.118	0.101	0.113	0.122	0.114	0.113	0.116	0.126	0.118	0.108
Mn	0.543	0.555	0.559	0.564	0.551	0.546	0.562	0.563	0.566	0.561	0.557	0.565
Ca	0.110	0.113	0.106	0.113	0.110	0.114	0.106	0.109	0.113	0.108	0.114	0.114
Total	1.918	1.913	1.924	1.918	1.927	1.925	1.924	1.927	1.929	1.931	1.929	1.929

表 3-37 C-10 之薔薇輝石所含化學成分與陽離子數

Site	C-10-1	C-10-2	C-10-3	C-10-4	C-10-5	C-10-6	C-10-7	C-10-8	C-10-9	C-10-10
Avg. of	2	3	1	1	3	3	1	3	3	3
SiO ₂	47.86	48.56	43.19	47.63	49.39	47.14	43.85	47.04	46.52	46.19
Al ₂ O ₃	0.00	0.00	0.00	1.21	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
FeO	0.00	0.00	3.63	4.76	0.00	0.00	3.83	0.00	0.00	0.00
MgO	3.04	3.05	2.14	2.64	3.00	2.59	2.24	2.82	2.35	2.54
MnO	28.30	30.07	27.67	27.55	28.54	29.77	28.05	29.20	31.61	31.05
CaO	6.12	5.94	5.66	5.92	6.04	5.56	5.44	5.82	5.92	5.39
Total	85.32	87.62	82.29	89.71	86.97	85.06	83.48	84.88	86.40	85.17
O=	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Si	1.080	1.067	1.011	1.037	1.094	1.067	1.012	1.067	1.037	1.044
Al	0.000	0.000	0.000	0.015	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Fe	0.000	0.000	0.071	0.086	0.000	0.000	0.074	0.000	0.000	0.000
Mg	0.102	0.100	0.075	0.077	0.099	0.088	0.077	0.095	0.078	0.086
Mn	0.541	0.560	0.548	0.505	0.535	0.571	0.548	0.561	0.597	0.595
Ca	0.148	0.140	0.142	0.134	0.143	0.135	0.135	0.141	0.141	0.130
Total	1.871	1.867	1.847	1.854	1.871	1.861	1.846	1.864	1.853	1.855

表 3-38 B-1 之薔薇輝石所含化學成分與陽離子數

Site	B-1-1	B-1-2	B-1-3	B-1-4	B-1-5	B-1-6	B-1-7	B-1-8
Avg. of	3	2	3	3	3	2	2	3
SiO ₂	47.59	44.57	48.03	45.82	45.84	46.14	46.88	47.17
MgO	2.74	3.02	3.42	2.75	3.03	2.54	4.21	4.47
MnO	26.42	27.73	25.52	28.18	27.22	28.45	27.76	27.12
CaO	6.25	5.73	5.66	6.00	6.51	5.31	5.17	6.84
Total	83.00	81.05	82.63	82.75	82.60	82.44	84.02	85.60
O=	3	3	3	3	3	3	3	3
Si	1.106	1.061	1.121	1.068	1.071	1.080	1.077	1.063
Mg	0.095	0.107	0.119	0.096	0.105	0.089	0.144	0.150
Mn	0.521	0.559	0.505	0.556	0.538	0.564	0.540	0.518
Ca	0.156	0.146	0.141	0.150	0.163	0.133	0.127	0.165
Total	1.878	1.873	1.886	1.870	1.877	1.866	1.888	1.896

表 3-39 B-2 之薔薇輝石所含化學成分與陽離子數

Site	B-1-1	B-1-2	B-1-3	B-1-4	B-1-5	B-1-6	B-1-7	B-1-8	B-1-9	B-1-10
Avg. of	3	2	3	3	3	2	2	2	2	3
SiO ₂	46.80	47.15	45.70	44.74	44.78	47.93	45.42	44.82	46.10	44.96
MgO	2.97	3.23	2.95	3.09	3.33	2.31	3.14	2.83	3.33	2.74
MnO	25.56	24.64	27.92	29.40	31.96	24.77	28.58	29.52	28.66	28.64
CaO	6.11	5.97	5.94	6.07	5.40	6.65	5.55	5.22	5.56	5.70
Total	81.44	80.99	82.51	83.30	85.47	81.66	82.69	82.39	83.65	82.04
O=	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Si	1.122	1.137	1.082	1.049	1.024	1.146	1.072	1.062	1.076	1.070
Mg	0.106	0.116	0.104	0.108	0.114	0.082	0.110	0.100	0.116	0.098
Mn	0.519	0.503	0.559	0.583	0.617	0.501	0.572	0.592	0.567	0.577
Ca	0.157	0.154	0.151	0.152	0.132	0.170	0.140	0.133	0.139	0.145
Total	1.904	1.910	1.896	1.892	1.887	1.909	1.894	1.887	1.898	1.890



3-4-2 各產地薔薇輝石之化學成分比較

由表 3-29 到表 3-38 的分析結果可知，薔薇輝石大多數是由錳、鈣、鎂、鐵之矽酸鹽類所組成，這四個元素中又以錳含量佔最多，有時會有部分錳離子被鈣、鎂、鐵離子所取代，本節針對台灣、中國、巴西所產薔薇輝石的化學成分討論並繪製錳、鈣、鎂鐵的三成份圖(圖 3-67~圖 3-70)與前人研究作比較(南部松夫等，1977；Elias et al., 1982)，另外也繪製 SiO_2 、 MnO 、 $\text{CaO}+\text{MgO}+\text{FeO}$ 之成份圖(圖 3-71)，以利觀察各產地間之化學成分變化。

各地化學成分分析結果皆落在薔薇輝石區中，化學成分比較如下：

台灣產玫瑰石中薔薇輝石之錳含量(表 3-29 至表 3-32)為三產地中含量最高，錳、鎂、鐵及鈣三成份圖中(圖 3-67)，其錳的分布範圍集中在 75%以上，鈣含量為 0~20%，鎂鐵含量為三產地內最少，為 0~10%(圖 3-67)。中國產玫瑰石的薔薇輝石之錳含量較台灣少，如表 3-33~表 3-36，在錳、鎂加鐵及鈣三成份圖中(如圖 3-68)，其錳的分布範圍從 60~85%，鈣含量為 10~20%，鎂鐵含量偏高，為 5~25%。巴西玫瑰石的薔薇輝石之錳含量亦較台灣少(表 3-37 至 3-38)，將其畫入錳、鎂加鐵及鈣三成份圖中(如圖 3-69)，其錳含量分布範圍為 60~75%，鈣含量為 10~25%，鎂鐵含量為 10~20%(如圖 3-69)。

將台灣、中國、巴西產薔薇輝石及前人研究畫入錳、鎂、鐵及鈣三成份圖中(如圖 3-70)，皆落在薔薇輝石區中。台灣產薔薇輝石可分為兩區，一為只含錳與鈣成份，另一區則包含錳、鈣、鎂、鐵之成份；中國薔薇輝石之化學成分分布較分散，並重疊到台灣與巴西的薔薇輝石化學成分；巴西薔薇輝石之化學成分分布則較集中，錳含量的變動範圍不大；總括以上資料可以得知，台灣與巴西薔薇輝石之化學成分有明顯的區別，台灣產薔薇輝石錳含量為 75%以上，巴西產薔薇輝石錳含量為 75%以下；另外，台灣薔薇輝石之化學成份中，只含

錳與鈣一區也可與中國及巴西產薔薇輝石作出區別。

最後在矽、錳、鈣+鎂+鐵之成分圖中(圖 3-71)可以得知，中國和巴西兩地之矽含量略高，分布範圍為 50~60%之間，整體來說台灣產地之薔薇輝石錳含量較高，而鈣、鎂、鐵的含量都比中國及巴西相對來得低，分布範圍在 10%以下，台灣部分薔薇輝石只含錳與鈣之成分，由此可見其鈣、鎂、鐵取代錳的程度較少。

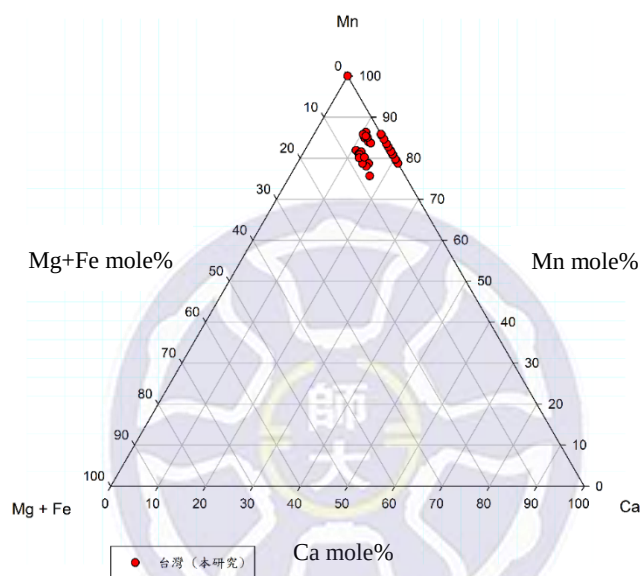


圖 3-68 台灣薔薇輝石化學成分圖

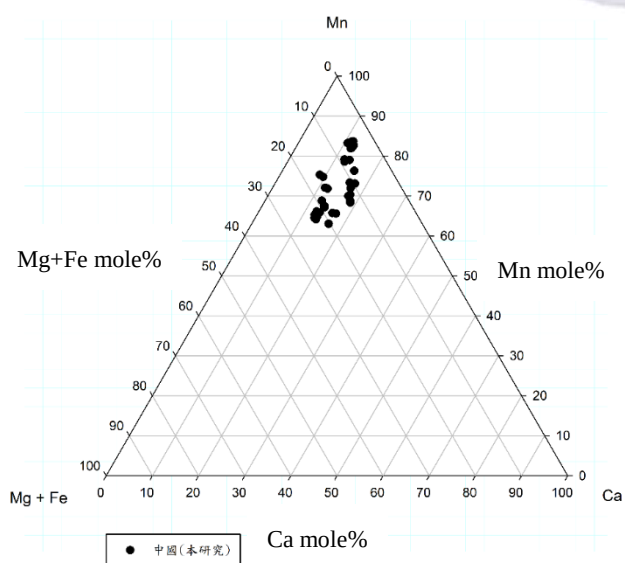


圖 3-69 中國薔薇輝石化學成分

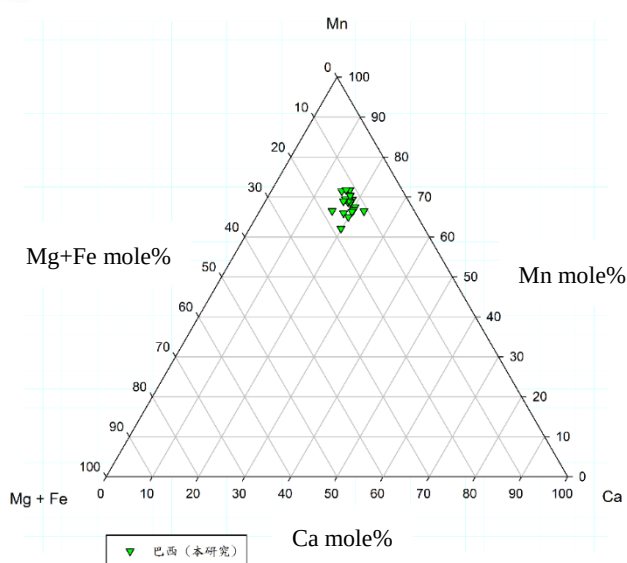


圖 3-70 巴西薔薇輝石化學成分圖

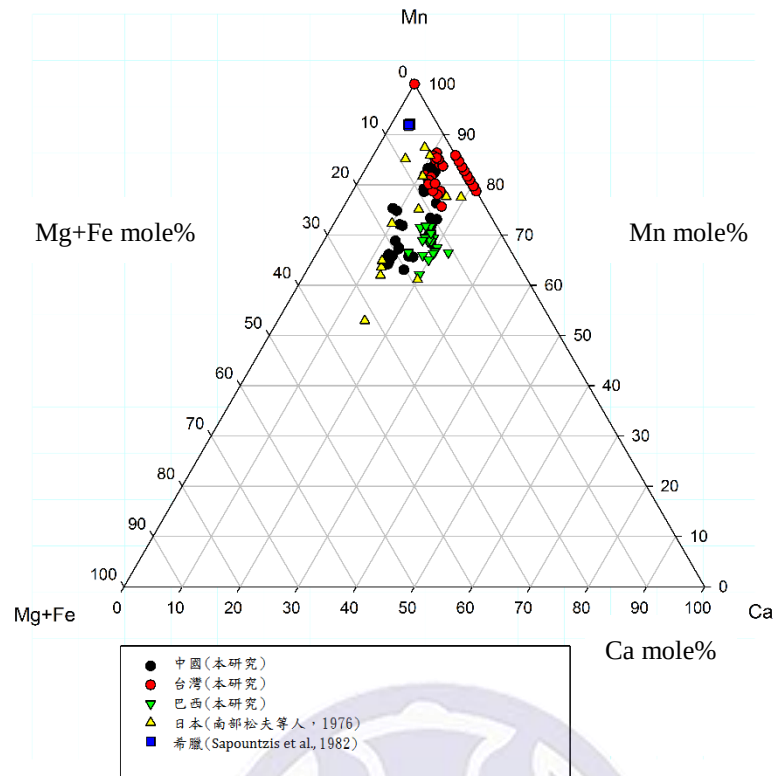


圖 3-71 三個產地與前人研究之薔薇輝石化學成分比較圖(1)

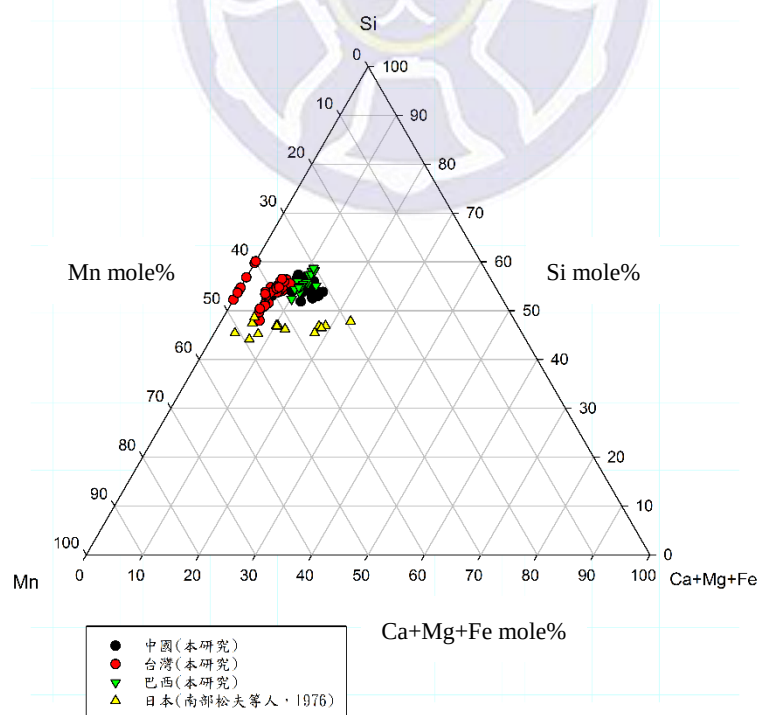
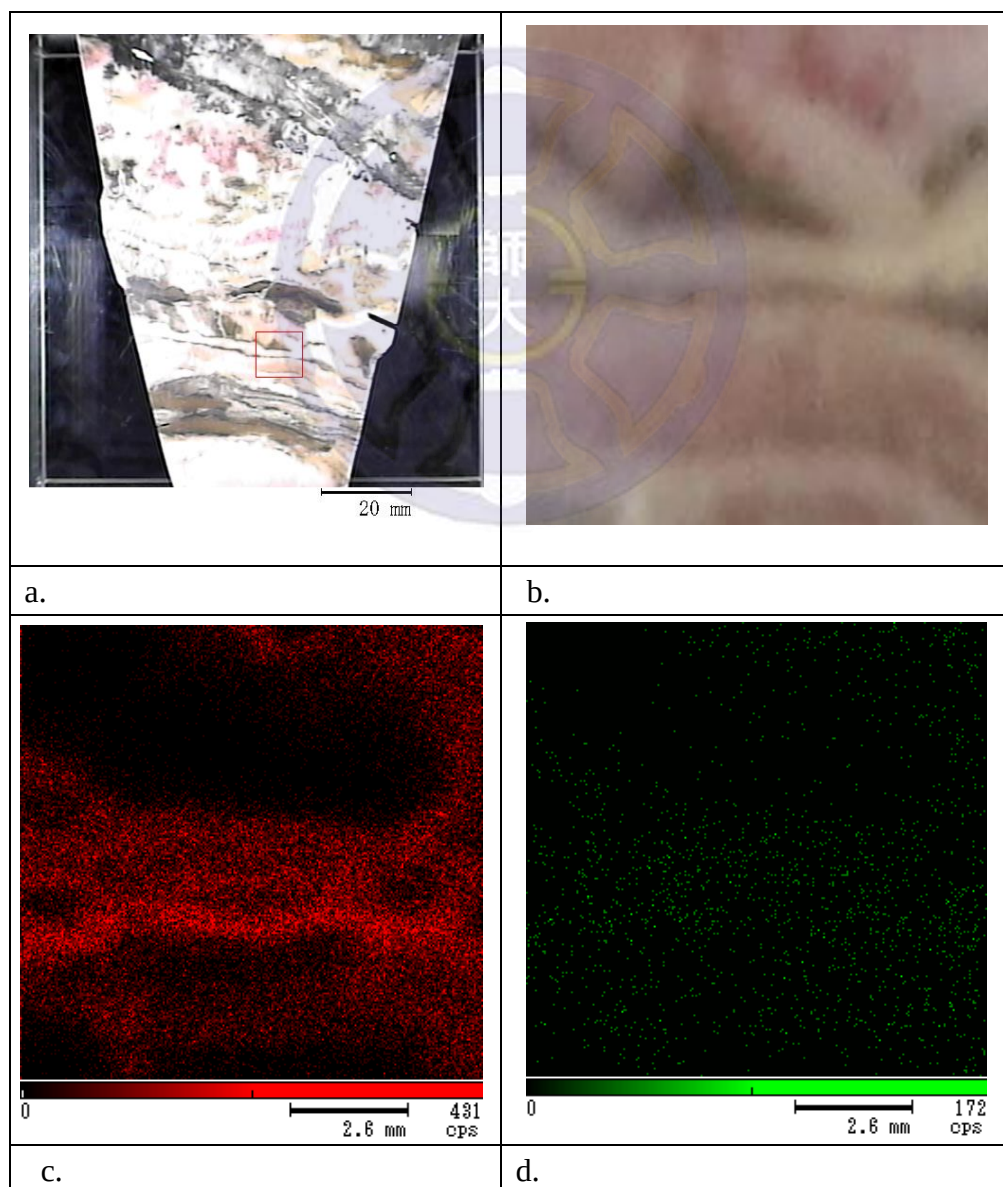


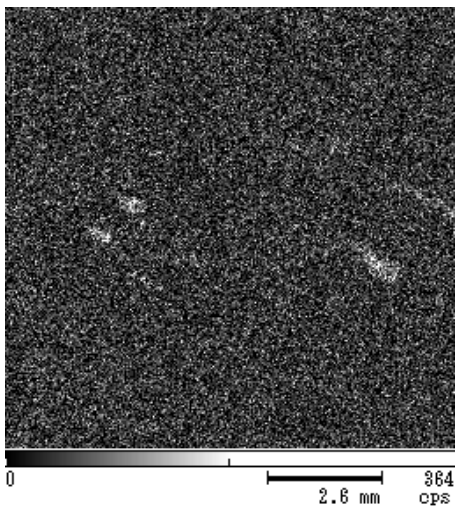
圖 3-72 三個產地與前人研究之薔薇輝石化學成分比較圖(2)

3-5 X 光螢光分析結果

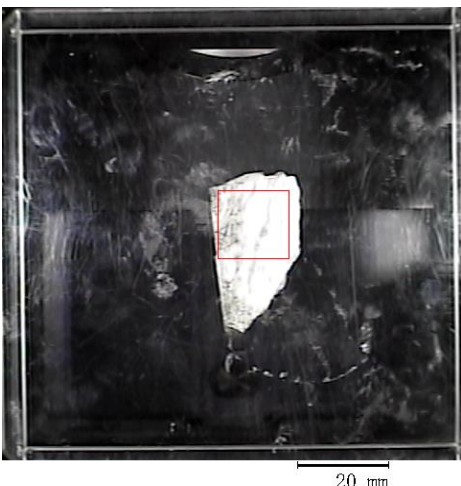
為得知玫瑰石主要元素的分佈情形，本研究利用 X 光螢光分析儀將每個產地具有明顯顏色差異分布的標本，進行化學元素的掃描，分析結果如下：

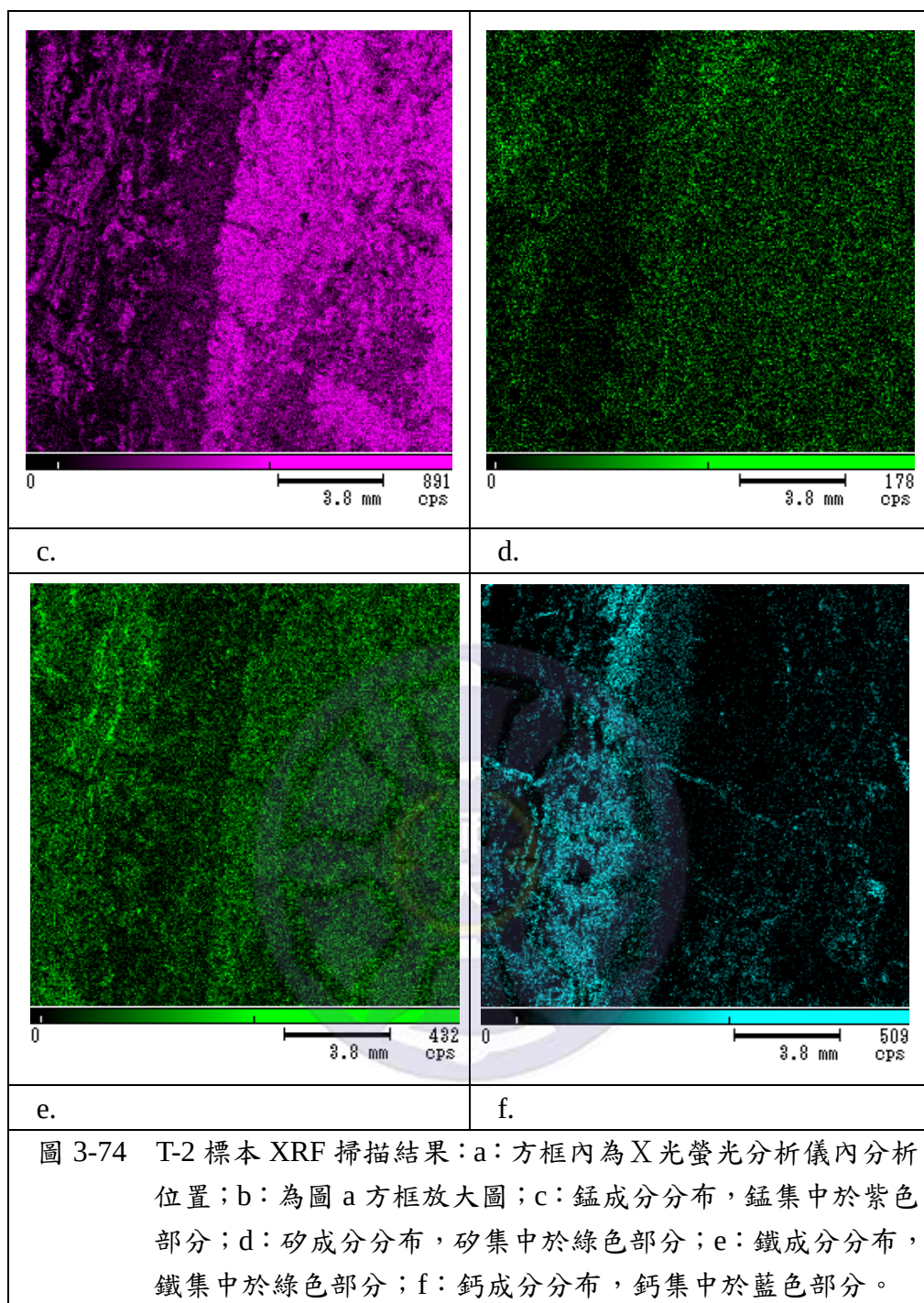
首先為中國產地的玫瑰石標本 C-4(如圖 3-72)，分析結果顯示紅色區域代表錳成分如圖 3-72(c)，綠色區域為鈣成分如圖 3-72(d)，白色區域為矽成分如圖 3-72(e)，得知此標本主要由錳組成，其次為矽成分，將分析結果與標本實際顏色做比對，發現錳含量較高的地方，在標本上明顯呈粉紅色。



	
e.	
圖 3-73 C-4 標本 XRF 掃描結果： a：方框內為X光螢光分析儀內分析位置；b：為圖 a 方框放大圖； c：錳成分分布，錳集中於紅色部分； d：鈣成分分布，鈣集中於綠色部分； e：矽成分分布，矽集中於白色部分	

台灣 T-2 標本(如圖 3-73)由 XRF 分析後所得，紫色的區域代表錳成分(圖 3-73(c))，綠色區域(圖 3-73(d)為矽成分)，另一綠色區域(圖 3-73(e))為鐵成分，藍色區域(圖 3-73(f))為鈣成分，其中錳成分含量最多，顏色最深。放大圖(圖 3-73(b))中之粉紅色區域是錳含最多的位置，紅色箭頭之白色區域為鈣含量最多之處。

	
a.	b.



台灣標本 T-9(如圖 3-74)由 XRF 分析後所得，紫色區域如圖 3-74(c)為錳成分，黃色區域如圖 3-74(d)為矽成分，綠色區域如圖 3-74(e)為鐵成分，藍色區域如圖 3-74(f)為鈣成分，將分析結果與標本實際顏色做比對，發現顏色為深黑色的區域，錳及鐵含量最高，圖 3-74(b) 紅色箭頭處，為矽含量富集區域。

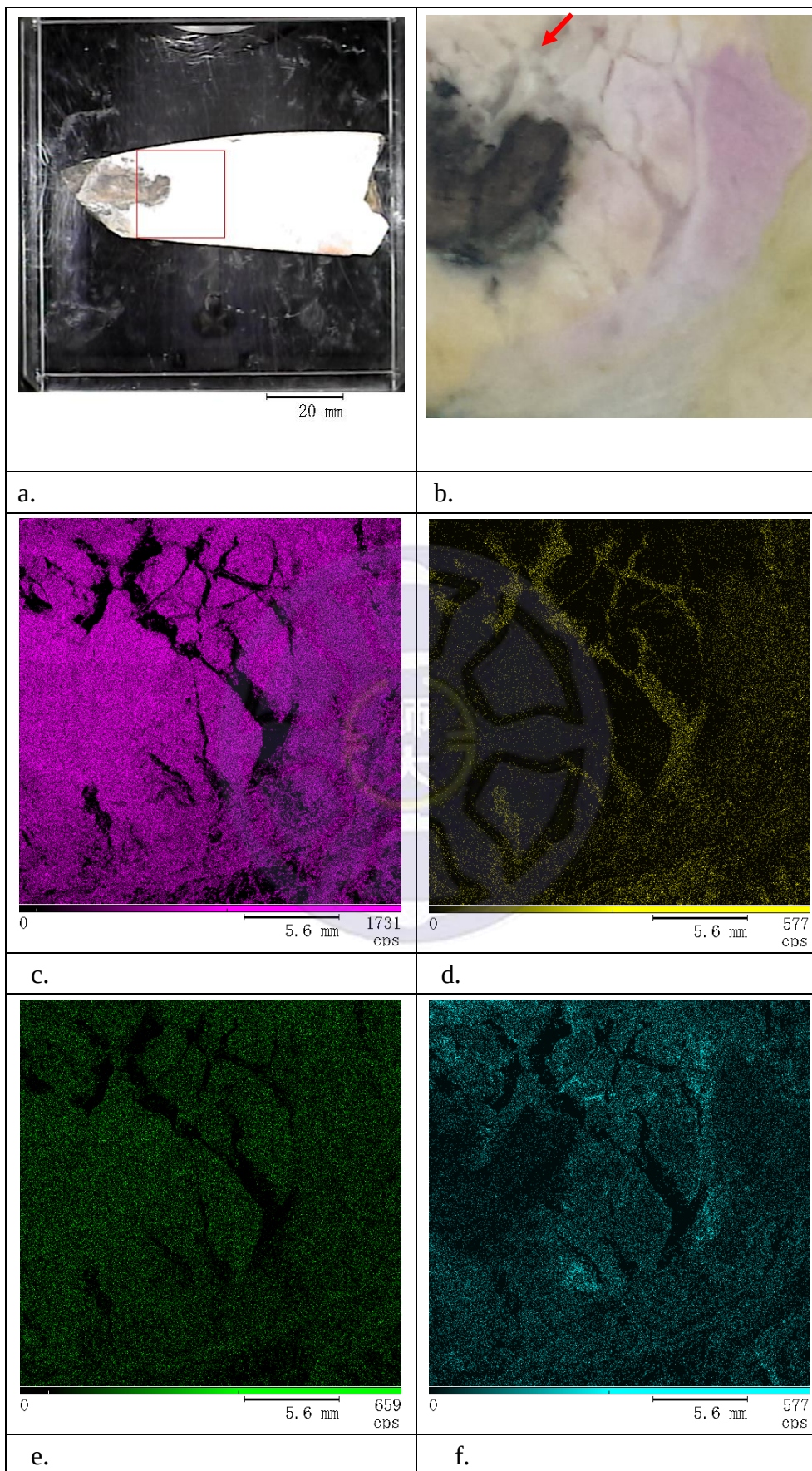
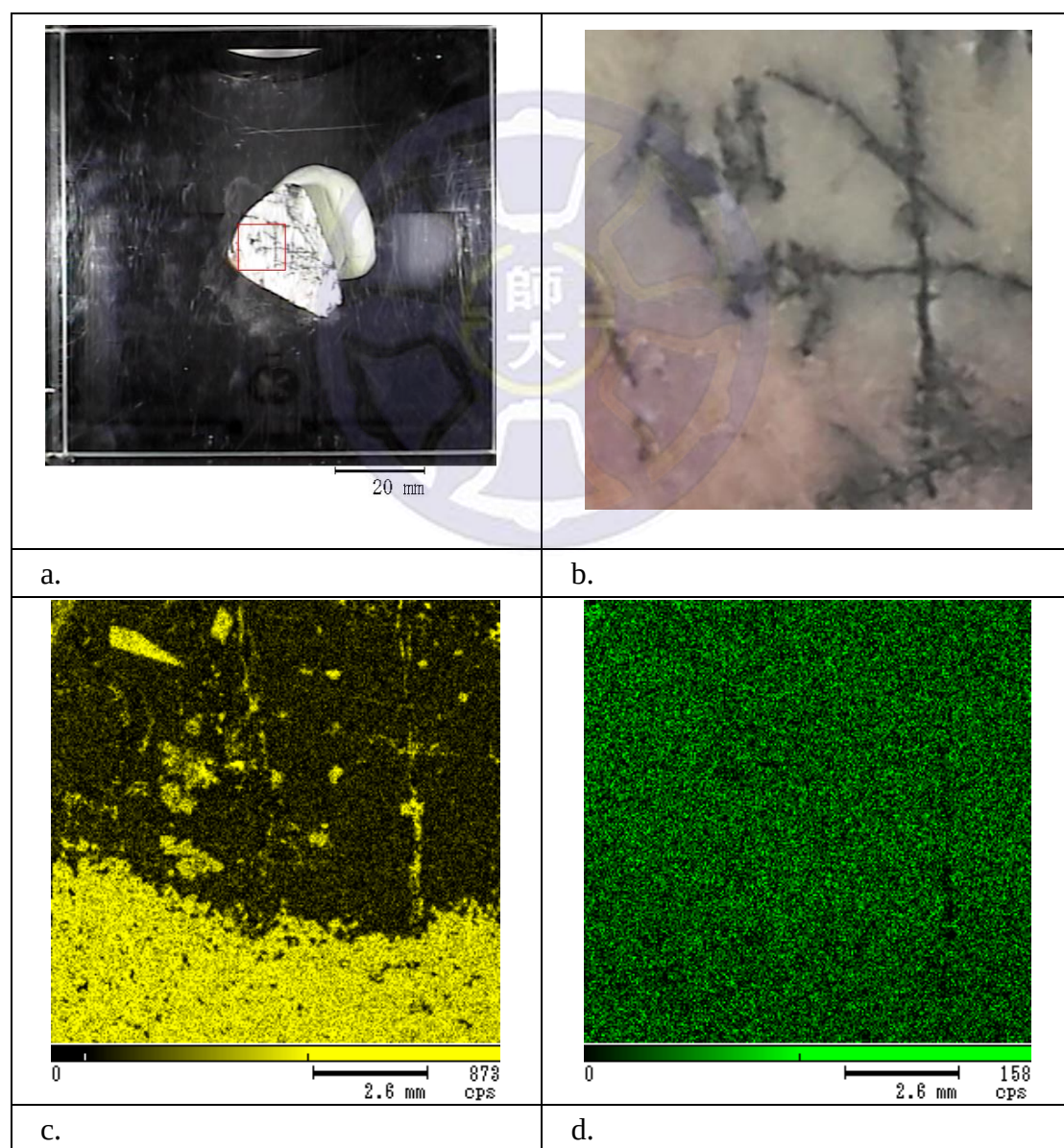
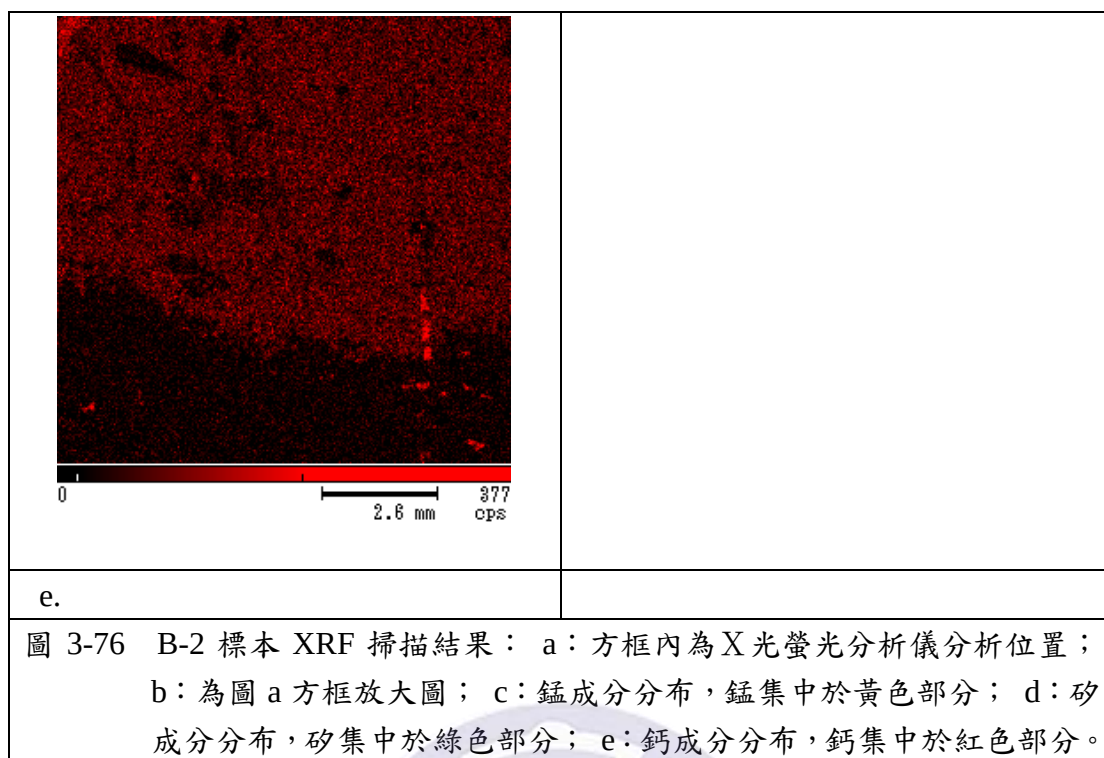


圖 3-75 T-9 標本 XRF 掃描結果： a：方框內為 X 光螢光分析儀內分析位置；b：為圖 a 方框放大圖； c：錳成分分布，錳集中於紫色部分； d：矽成分分布，矽集中於黃色部分； e：鐵成分分布，鐵集中於綠色部分； f：鈣成分分布，鈣集中於藍色部分。

巴西標本 B-2(圖 3-75)由 XRF 分析所得，黃色區域(圖 3-75(c))為錳成分，綠色區域(圖 3-75(d))為矽成分，紅色區域(圖 3-75(e))為鈣成分，得知此標本由矽、錳、鈣組成，與實際標本做比較，白色部分的鈣含量最多，粉紅色部分的錳含量最多，黑色長條紋亦為錳含量之分布，推估應為氧化錳，矽含量分布則較為平均。





以上 XRF 之分析結果與拉曼分析結果做比對及二次檢驗。實際標本之粉紅色部分大多數是錳成分的富集，多為薔薇輝石或菱錳礦所組成，薔薇輝石化學式為 MnSiO_3 ，錳離子會被鐵、鈣、鎂離子所取代，所以在元素分布圖中亦會發現鐵、鈣成分，但含量較少。實際標本中透明或白色部分則多為矽成分的富集，其次為鈣成分，以標本 T-9 為例(如圖 3-74)，這些透明部分幾乎是由石英所組成。另外標本 T-2 中鈣成分含量較多的區域(如圖 3-73)，矽含量明顯較少，根據拉曼分析結果，此區域的礦物相多為方解石、錳白雲石。

3-6 比重分析結果

根據前人研究(Cornelis and Barbara, 2008)對本次實驗中檢測出的 20 種礦物的比重描述(表 3-39)，配合比重實驗結果、和各地的礦物相對照推論。根據表 3-39，中國、台灣、巴西產玫瑰石平均比重分別 3.19、3.40 及 3.36。根據拉曼光譜儀分析結果顯示(表 3-40)，中國以薔薇輝石與錳鋁榴石的含量最多，故其平均比重為三地最高；巴西地區主要礦物相為薔薇輝石、透輝石及陽起石，與實驗測

得之平均比重相符合；而台灣地區則是以薔薇輝石、石英比例較高，故平均比重較低於其他兩地。

表 3-40 本研究出現之礦物比重(Cornelis and Barbara, 2008)

	比重		比重
薔薇輝石	3.4~3.7	方解石	2.71
錳輝石	3.6~3.8	石英	2.65
菱錳礦	3.5~3.7	鈉長石	2.55~2.76
錳鋁榴石	3.5~4.3	磁鐵礦	5.18
鈣薔薇輝石	3.32~3.43	綠泥石	2.6~3.3
錳白雲石	2.8~3.2	直閃石	2.85~3.2
鐵白雲石	3~3.1	鈦鐵礦	3.4~3.55
白雲石	2.85	重晶石	4.5
透輝石	3.2~3.3	鉻鉛礦	2.5~3
陽起石	3~3.3	銳鈦礦	3.9

表 3-41 三個產地之比重分析結果

編號	空氣1	空氣2	空氣3	空氣 (平均)	水1	水2	水3	水 (平均)	比重
C-1	18.21	18.21	18.21	18.21	11.88	11.90	11.91	11.90	2.88
C-2	17.95	17.95	17.95	17.95	12.93	12.95	12.91	12.93	3.58
C-3	9.12	9.12	9.12	9.12	6.40	6.40	6.41	6.40	3.36
C-4	11.65	11.65	11.65	11.65	8.09	8.08	8.09	8.09	3.27
C-5	17.55	17.55	17.55	17.55	11.87	11.87	11.88	11.87	3.09
C-6	12.74	12.74	12.74	12.74	9.43	9.44	9.43	9.43	3.85
C-7	8.89	8.89	8.89	8.89	6.41	6.42	6.42	6.42	3.59
C-8	12.46	12.46	12.46	12.46	8.89	8.89	8.88	8.89	3.49
C-9	13.55	13.55	13.55	13.55	9.71	9.72	9.72	9.72	3.53
C-10	12.01	12.01	12.02	12.01	8.44	8.45	8.45	8.45	3.37
平均									3.40
T-1	15.10	15.10	15.10	15.10	10.48	10.47	10.47	10.47	3.26
T-2	18.20	18.20	18.20	18.20	11.80	11.82	11.82	11.81	2.85
T-3	15.68	15.68	15.68	15.68	10.10	10.10	10.12	10.11	2.81
T-4	18.83	18.83	18.83	18.83	13.40	13.38	13.41	13.40	3.47
T-5	14.53	14.53	14.53	14.53	10.15	10.15	10.16	10.15	3.32
T-6	16.32	16.32	16.32	16.32	11.20	11.20	11.21	11.20	3.19
T-7	16.51	16.51	16.51	16.51	11.32	11.34	11.33	11.33	3.19
T-8	21.33	21.32	21.32	21.32	14.82	14.82	14.83	14.82	3.28
T-9	31.35	31.35	31.33	31.34	21.61	21.61	21.60	21.61	3.22
T-10	9.52	9.52	9.52	9.52	6.61	6.61	6.62	6.61	3.28
平均									3.19
B-1	16.20	16.20	16.20	16.20	11.35	11.32	11.32	11.33	3.33
B-2	14.32	14.32	14.32	14.32	10.05	10.05	10.04	10.05	3.35
B-3	13.79	13.79	13.79	13.79	9.74	9.74	9.73	9.74	3.40
平均									3.36

第四章 結論

1. 本研究在肉眼觀察下發現中國產玫瑰石的色澤暗紅、且圖案單調是因為其主要礦物多以薔薇輝石、錳鋁榴石為主，而台灣產玫瑰石多為菱錳礦夾雜薔薇輝石，雖然顏色大至看來仍為玫瑰色，但其中的菱錳礦使其顏色更加多變，且略帶粉紅，反而更具特色。
2. 綜合本研究礦物相分析之結果，台灣產玫瑰石共發現 14 種礦物，分別為薔薇輝石、石英、菱錳礦、錳鋁榴石、方解石、磁鐵礦、白雲石、鐵白雲石、錳白雲石、錳輝石、錳橄欖石、鉻鉛礦、重晶石、銳鈦礦。中國產玫瑰石共發現 14 種礦物，分別為薔薇輝石、石英、菱錳礦、錳鋁榴石、錳輝石、錳白雲石、磁鐵礦、鈉長石、透輝石、陽起石、重晶石、綠泥石、直閃石、鈦鐵礦。巴西產玫瑰石共發現 9 種礦物，分別為薔薇輝石、鈣薔薇輝石、菱錳礦、錳鋁榴石、錳輝石、透輝石、陽起石、磁鐵礦、方解石；本研究與前人研究比較後發現所有礦物相未完全相同，推測是取樣之認定所造成的差異。
3. 根據本研究拉曼光譜儀及 X 光粉末繞射儀的結果顯示：台灣產玫瑰石含量最多的是石英及薔薇輝石，中國產玫瑰石含量最多的是薔薇輝石及錳鋁榴石，巴西產玫瑰石含量最多的是薔薇輝石及透輝石。
4. 綜合本研究拉曼光譜儀分析結果及孟賽爾色序系統分類可得知：台灣與中國之共同點為 W(白)色系的主要礦物相皆為石英；台灣、中國及巴西產玫瑰石之 R(紅)色系中的主要礦物相皆為薔薇輝石。
5. 本研究三個產地薔薇輝石的化學成份主要為 Mn、Ca、Mg、Fe 組成。台灣產薔薇輝石含錳最高(75%以上)，鎂、鐵含量最低(10%以下)，與巴西產薔薇輝石有明顯區別。中國及巴西之鈣、鎂、鐵含量高於台灣。

致謝

本論文得以順利完成，首先感謝我的指導教授劉德慶老師及方建能老師，在研究所求學期間兩位老師都給與我學業上的教導及啟發，嚴謹的研究精神與敬業之教學態度是我值得的學習榜樣，也成為研究過程中重要的助力。

感謝陳惠芬老師、余炳盛老師與黃怡禎老師對於本篇論文的建議與指正，感謝中研院飯塚義之博士在 SEM 分析上的指導，助理宇祥在實驗上的協助，感謝北科大余炳盛老師在 XRD 實驗上的幫忙，讓我的實驗能順利完成。

感謝建華學長、韻婕學姐在儀器操作、資料處理的協助。感謝葉恩肇老師、東晉學長、偉誠學長、雅芬學姐、文昱、衍豪、伯杰、昱琪、筱君、啟舜及致柔，給我許多課業及論文上的協助。

感謝我的好友及籃球夥伴們，偉哲、威閔、家柏、俊銘、峙良、政儒、元齊、濬騰、冠維、Jeff、Tony，在研究所課業繁忙之餘，你們是我抒壓的管道。感謝當兵一直認識到現在的好友，紀瑋、伯任、承翰、侃豫、獻元，研究生活中還好有你們的陪伴，才不顯得苦悶。

最後我要感謝我親愛的父母、外婆、阿姨。每當我遇到瓶頸，你們總是給我最大的支持與鼓勵，成為我永遠的後盾，讓我在研究所期間毫無後顧之憂，另外我要感謝李佳瑜，妳是我積極向前的動力。有你們真好，如果沒有你們本論文無法順利完成。

參考文獻

中文文獻

小笠原美津雄(1935)東澳滿俺鑛床調查報告。臺灣總督府殖產局鑛物及地質調查報告第三號，臺灣總督府殖產局，第 698 號，共 9 頁。

方建能(1998)台灣玫瑰石特展專輯-施勝郎先生典藏珍品。國立台灣博物館出版圖書，初版，1-16。

方建能(2007)石中有畫畫中有石-話說玫瑰石：台灣博物季刊，26 卷，第四期，60-63。

方建能(2012)發現台灣玫瑰石。國立台灣博物館出版，20-23。

余炳盛、方建能、宋聖榮、何鎮平(1999)花東鑛物岩石圖鑑。國立台灣博物館出版，初版，150-151。

岡本要八郎（1912）新產の薔薇輝石と光線石臺灣博物學會會報，第二卷，81-81。

服部武彦、國府健次(1932)臺北州蘇澳郡東澳產薔薇輝石に就いて：臺灣地學記事，第三卷，104-105。

南部松夫、谷田勝俊、北村強(1977) 東北地方産ケイ酸マンガン鉍の鉍物学的研究(第 20 報)：岩手県肘葛鉍山産バラ輝石について，東北大學選鑛製鍊研究所彙報，32(2)：93-108

翁林廷彬(2009)玫瑰石之鑛物組成及產狀。花蓮縣永安石友會出版，洄瀾石韻，第二輯，84-87。

郭奇龍(1995a)華麗多姿的玫瑰石。台灣博物，第 14 卷，第 2 期，第 9-11 頁。

郭奇龍、鄭永生、林錦村(1995b) 台灣東部薔薇輝石之調查與開發評估：台灣礦業，74 卷，第四期，442-449。

陳培源、劉德慶、黃怡禎(2004) 台灣之鑛物。經濟部中央地質調查所，206-206 頁。

陳德進(2009)玫瑰石之見賞初探。花蓮縣永安石友會出版，洄瀾石韻，第二輯，96-99。

陳肇夏(1998) 臺灣的變質岩。經濟部中央地質調查所，69-71。

陳肇夏(2001) 中央地質調查所報，八十八下半年及八十九年度。經濟部中央地質調查所，第 12 頁。

曾泰源(2009)話說台灣玫瑰石。花蓮縣永安石友會出版，洄瀾石韻，第二輯，88-94。

蔡佳容(2008) 利用分光色差儀進行綠色系閃玉顏色分級初探。國立台北科技大學材料科學與工程研究所碩士論文

魏稽生、譚立平(1999) 台灣非金屬經濟礦物。經濟部中央地質調查所，191-191 頁。

顏滄波(1959) 臺灣之礦物，臺灣礦業，第 11 卷，第一期，1-6 頁。

譚立平(1992)寶石學。徐氏基金會，178-179。

英文文獻

Beny C., 1991: Societe Francaise de Mineralogie et de Cristallograhie-Base donnees de spectres Raman. Rhodochorsite.

Klein and Dutrow, 2008: Anual of Mineral Science. John Wiley and Sons Inc .

Dimova, M., Panczer, G., Gaft, M., 2006: Spectroscopic study of barite from the kremikovtsi deposit (Bulgaria) with implication for its origin. Annales Géologiques de la Péninsule Balkanique, 67:101-108.

Elias S. Sapountzis, George Christofides, 1982: A calcium-poor rhodonite from Xanthi(N. Greece). Mineralogical magazine, 46:337-340.

Etchepare, J., 1971: study by Raman spectroscopy of crystalline and glassy diopside. In: Douglas, R.W., Ellis, B. (Eds.), Amorphous materials. Wiley Interscience, London, 337-346.

- Gunasekaran S., Anbalagan G., Pandi S., 2006: Raman and infrared spectra of carbonates of calcite structure. *Journal of Raman Spectroscopy*, 37: 892-899.
- Huang, E., 1999: Raman spectroscopic study of 15 gem minerals, *J. Geol. Soc. China*, 42: 301-318.
- McMillan, P.M. and A.M. Hofmeister, 1988: Infrared and Raman spectroscopy, in "Spectroscopic Methods in Mineralogy and Geology", *Rev. Mineralogy*, Vol.18, ed.F.C. Hawthorne, 99-160.
- Mills, S.J., Frost, R.L., Klopogge, J.T., and Weier, M.L., 2005: Raman spectroscopy of the mineral rhodonite. *Spectrochimica Acta, Part A*, 62, 171-175.
- Pinet M, Smith D.C., 1994 : Raman microspectrometry of garnets $X_3Y_2Z_3O_{12}$ 2. The natural aluminium series pyrope-almandine-spessartine, *Schweizerische Mineralogische und Petrographische Mitteilungen*, 74:161-179.
- Wang, A., Han, J., Guo, L., Yu, J. and P. Zeng, 1994: Database of standard Raman spectra of minerals and related inorganic crystals, *Appl. Spectroscopy*, 48: 959-968.
- Yui, T.F., Lo, C. H., and Wang Lee, C., 1989 : Mineralogy and petrology of metamorphosed manganese-rich rocks in the area of Santzan River, eastern Taiwan. *Neues Jahrbuch fuer Mineralogie, Abhandlungen*, 160 (3): 249-268.

附錄一

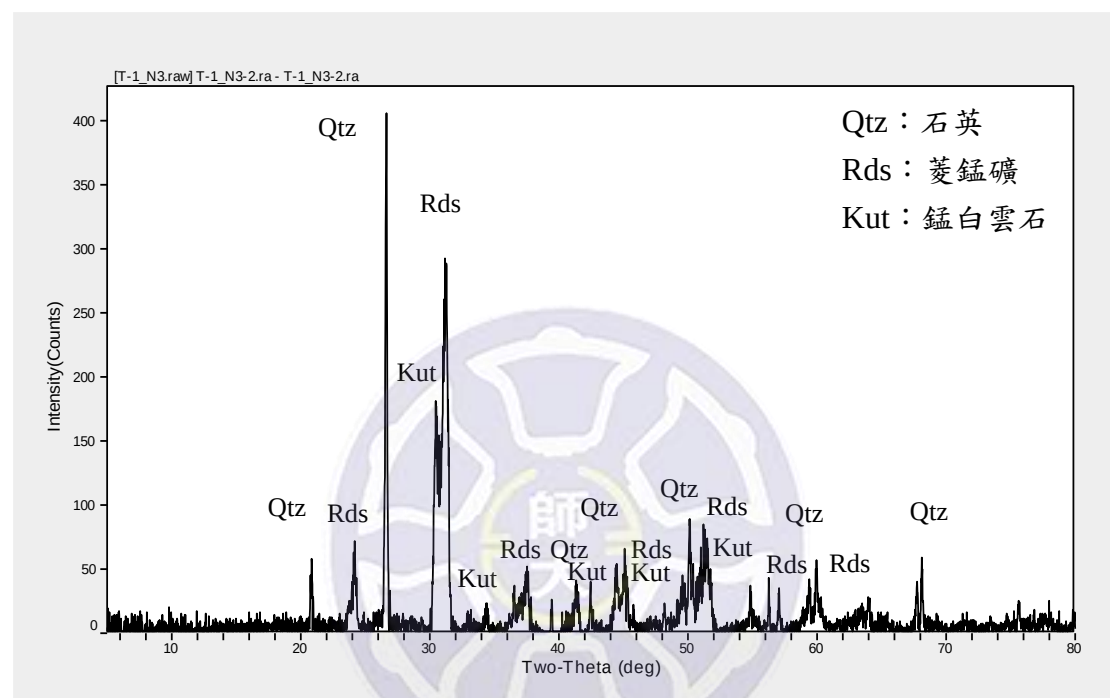
本研究使用之中英文岩石礦物對照表

Actinolite	陽起石
Albite	納長石
Amphibolite	角閃岩
Anatase	銳鈦礦
Ankerite	鐵白雲石
Anthophyllite	直閃石
Apatite	磷灰石
Asbestos	石棉
Barite	重晶石
Calcite	方解石
Chlorite	綠泥石
Chlorite schist	綠泥石片岩
Crocoite	鉻鉛礦
Diopside	透輝石
Dolomite	白雲石
Epidote	綠簾石
Green schist	綠色片岩
Hausmannite	黑錳礦
Kuthnohorite	錳白雲石
Magnetite	磁鐵礦
Manganese-rich rocks	富錳岩石
Pyrolusite	軟錳礦
Pyroxmangite	錳輝石
Quartz	石英
Quartz schist	石英片岩
Rhodochrosite	菱錳礦
Rhodonite	薔薇輝石
Schistose metachert	變質燧石
Spessartine	錳鋁榴石
Tephroite	錳橄欖石
Titatite	鈦鐵礦

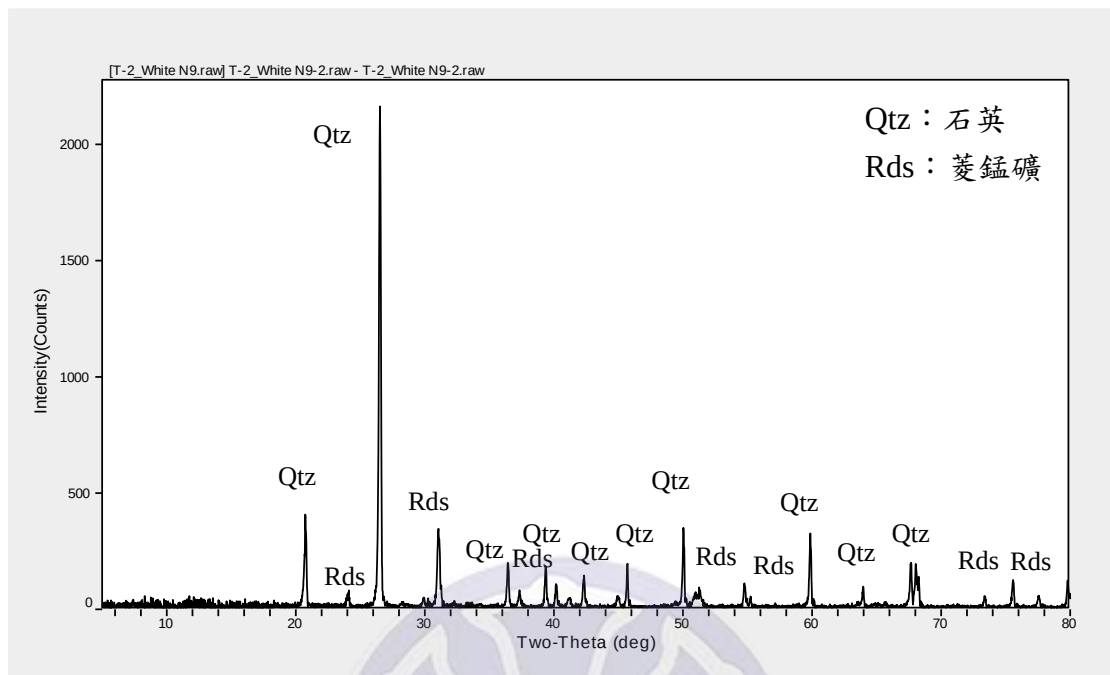
附錄二

X 光粉末繞射儀繞射圖譜

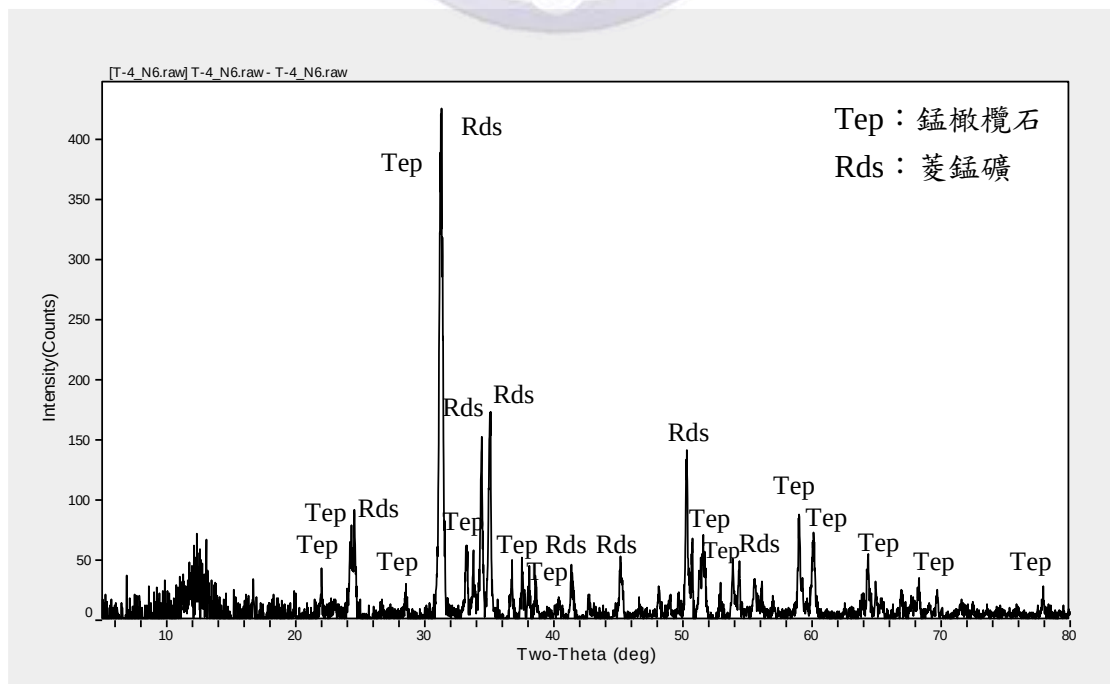
標本 T-1



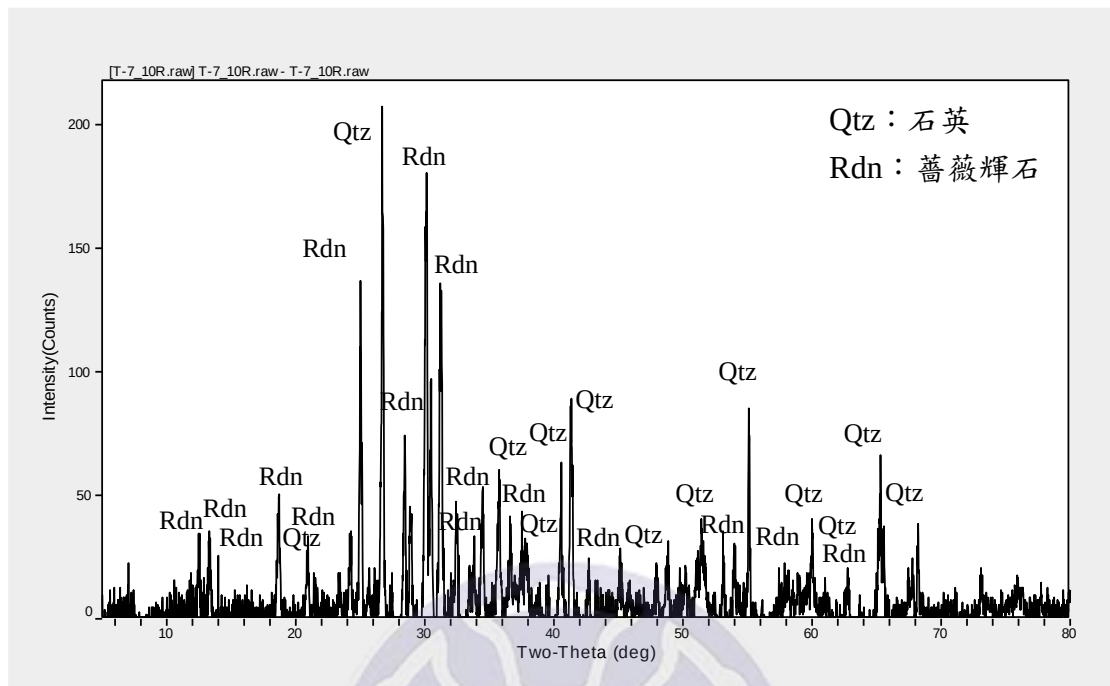
標本 T-2



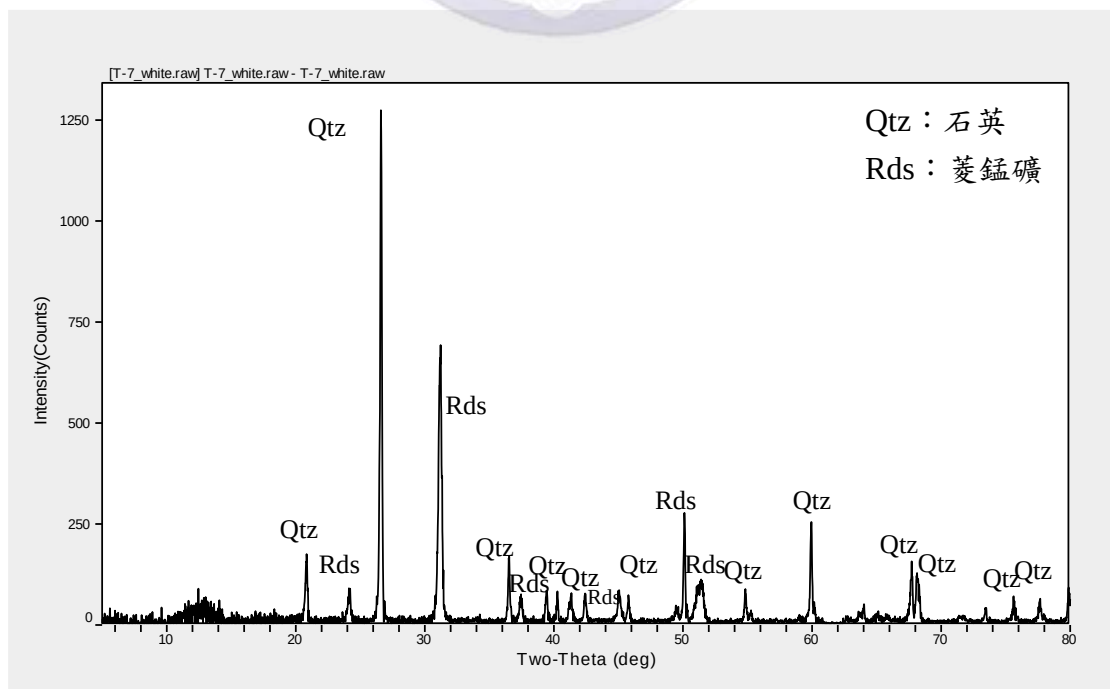
標本 T-4



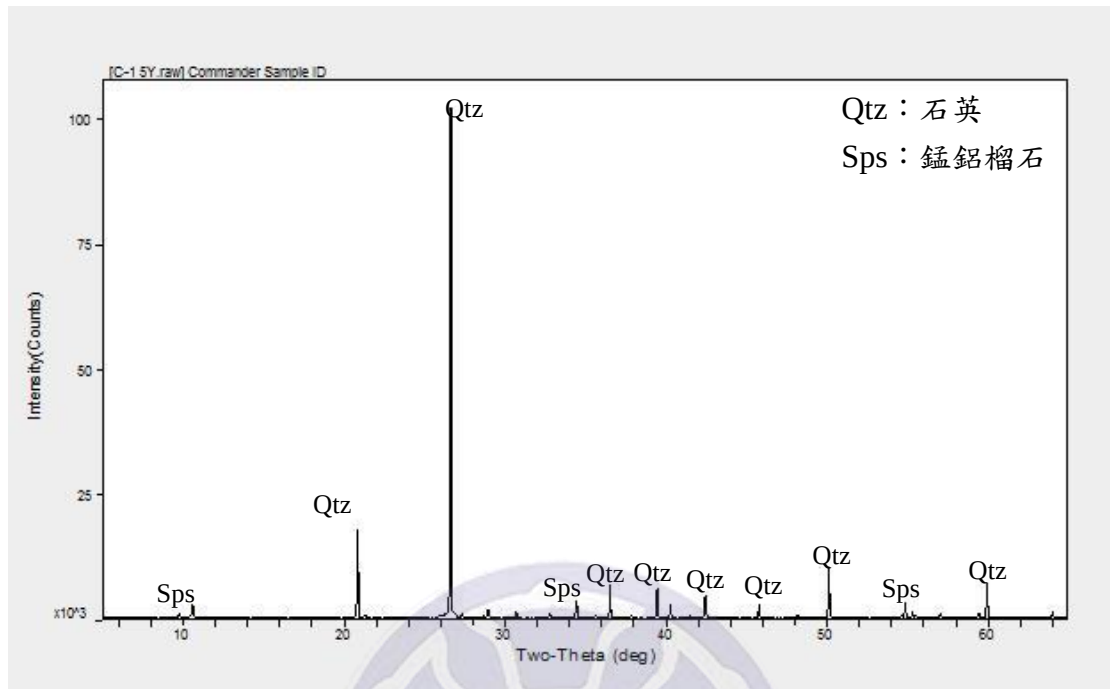
標本 T-7-1



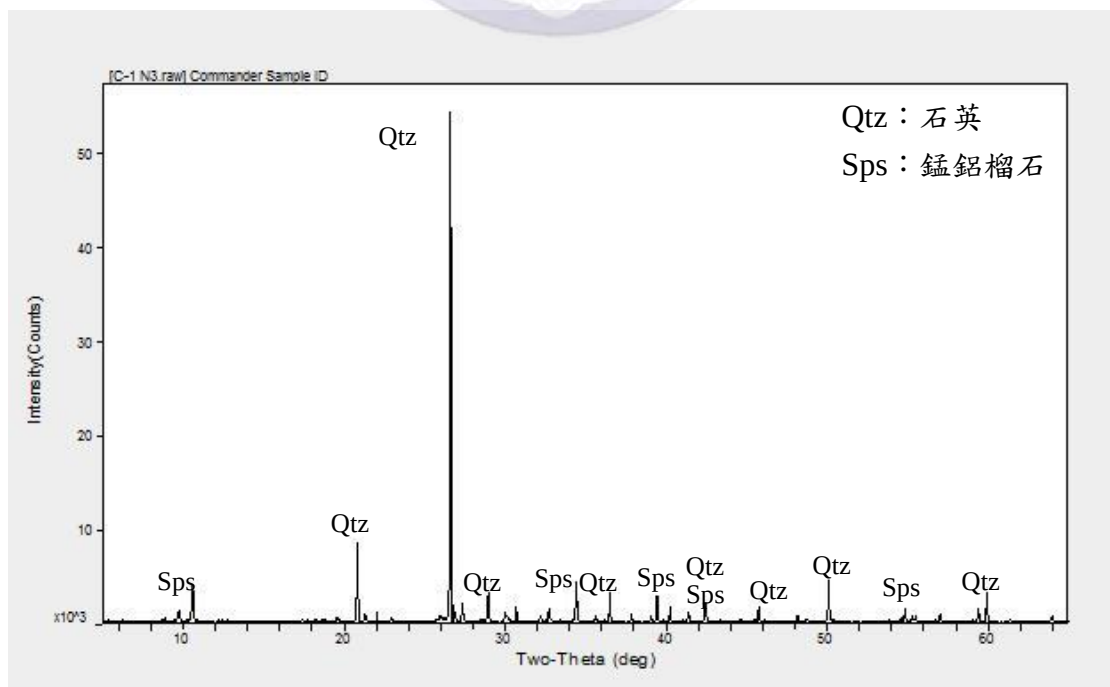
標本 T-7-2



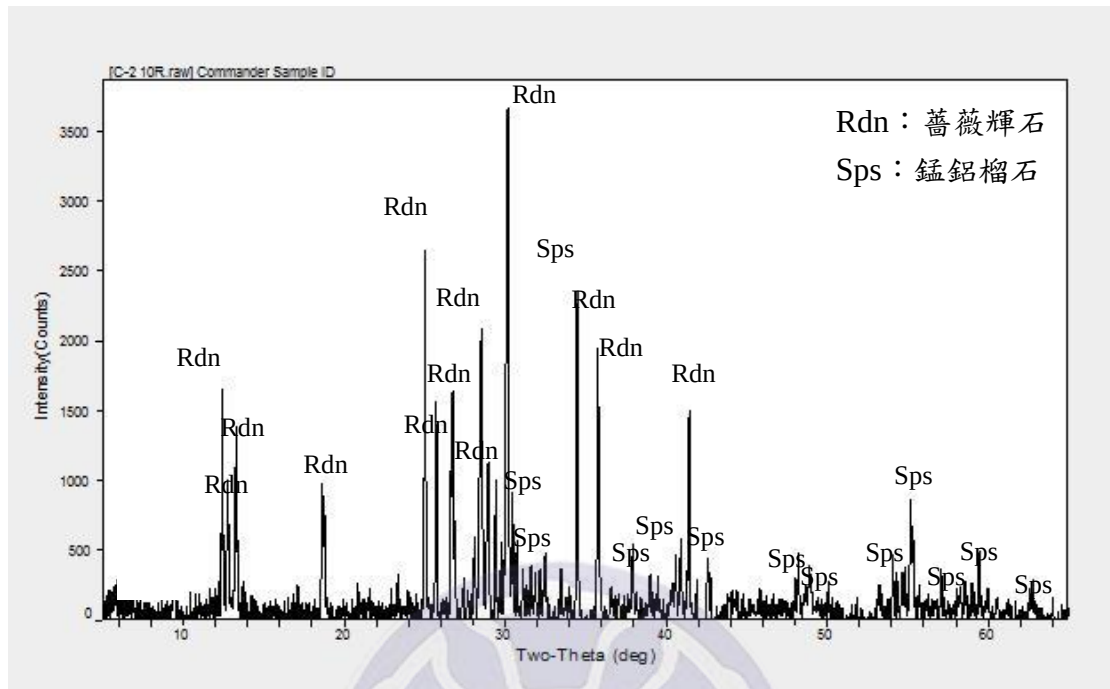
標本 C-1-1



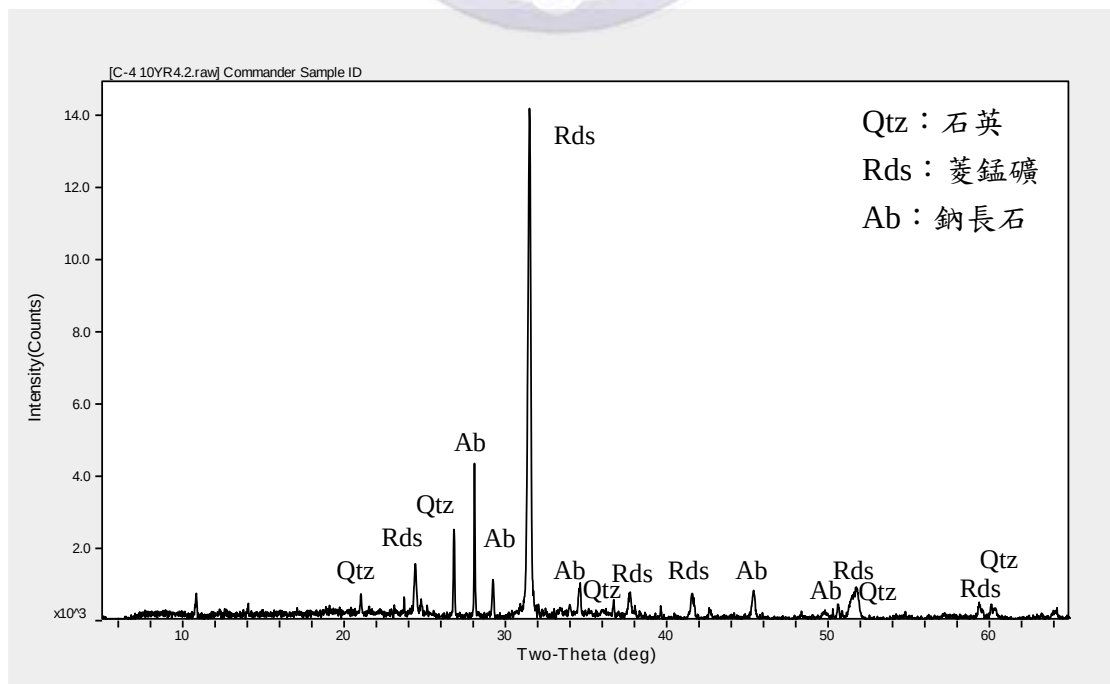
標本 C-1-2



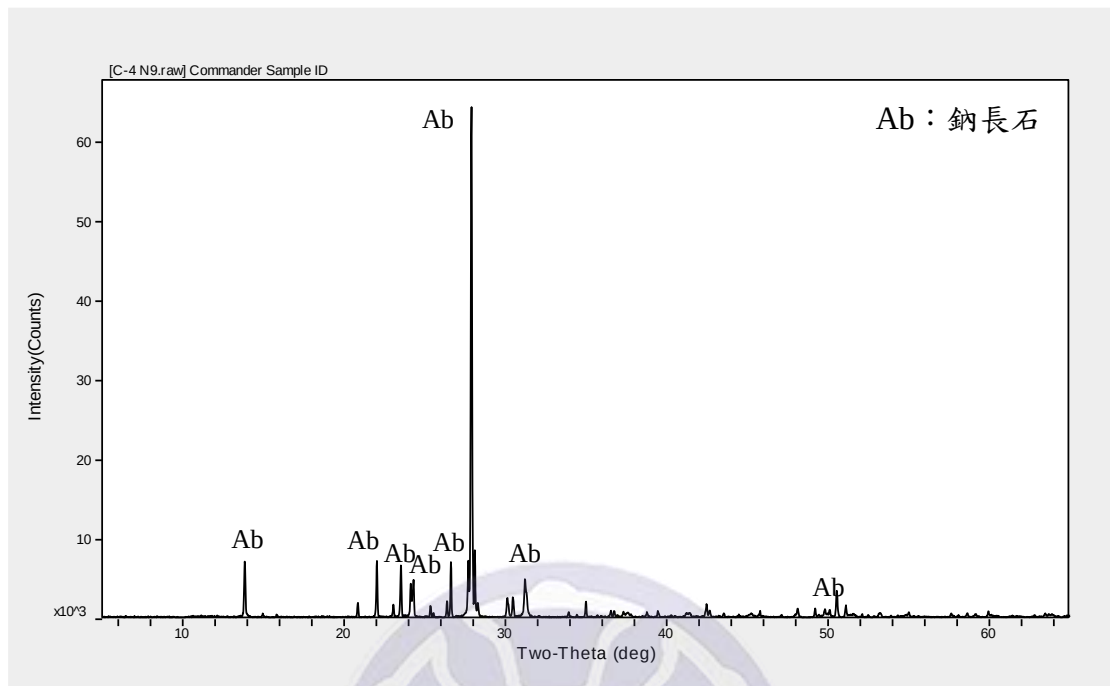
標本 C-2



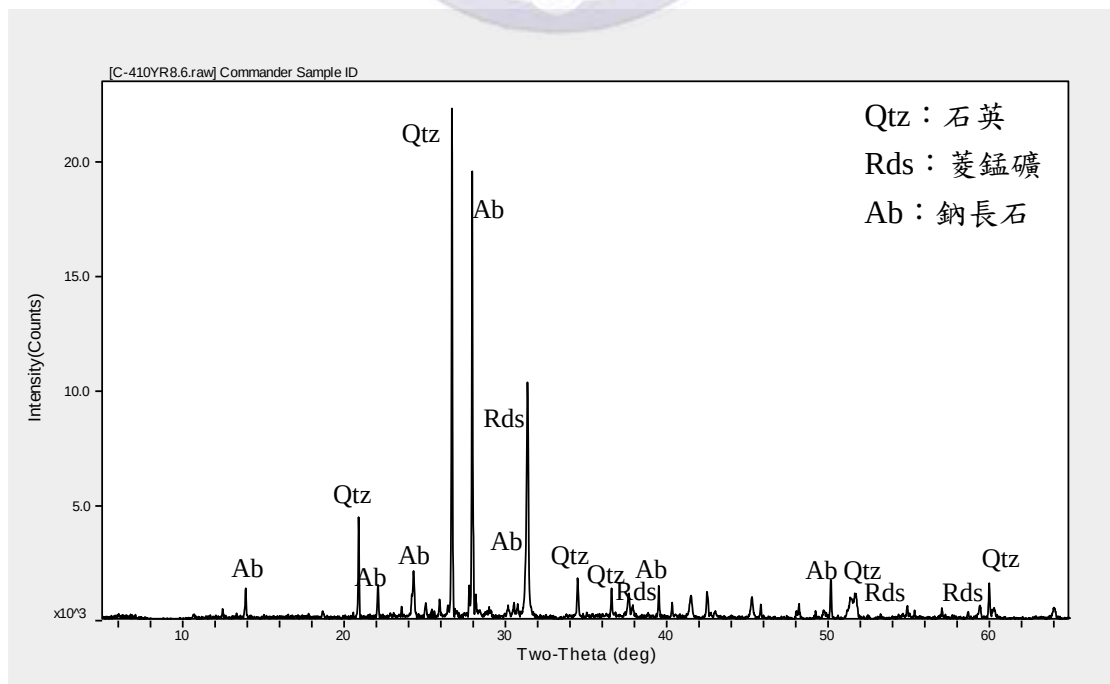
標本 C-4-1



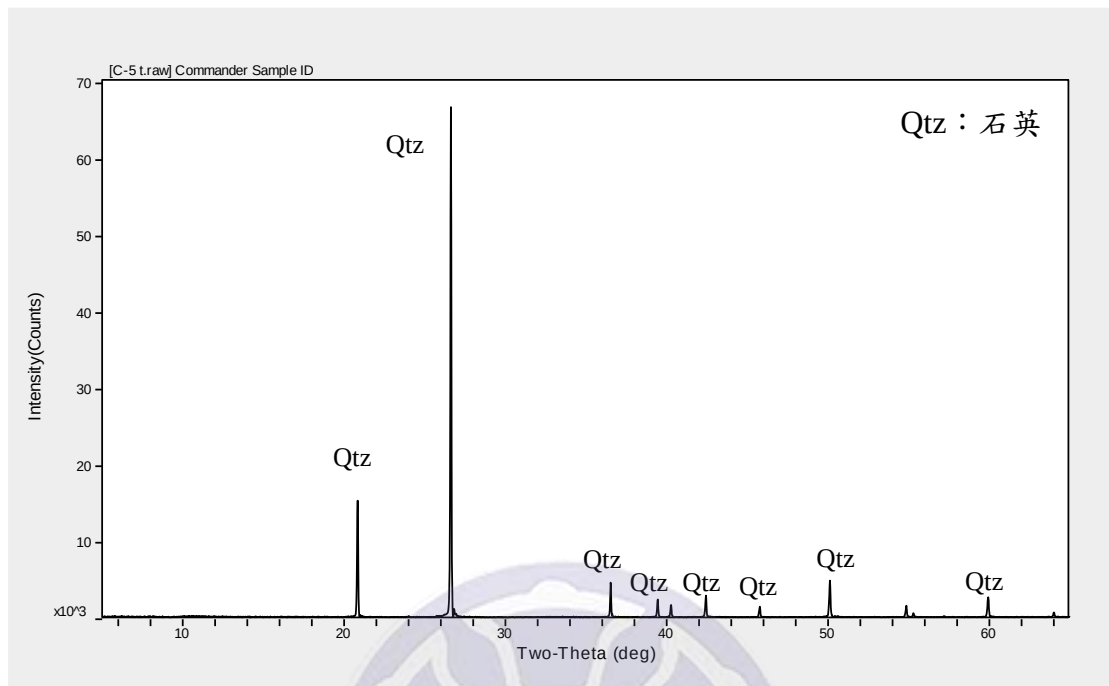
標本 C-4-2



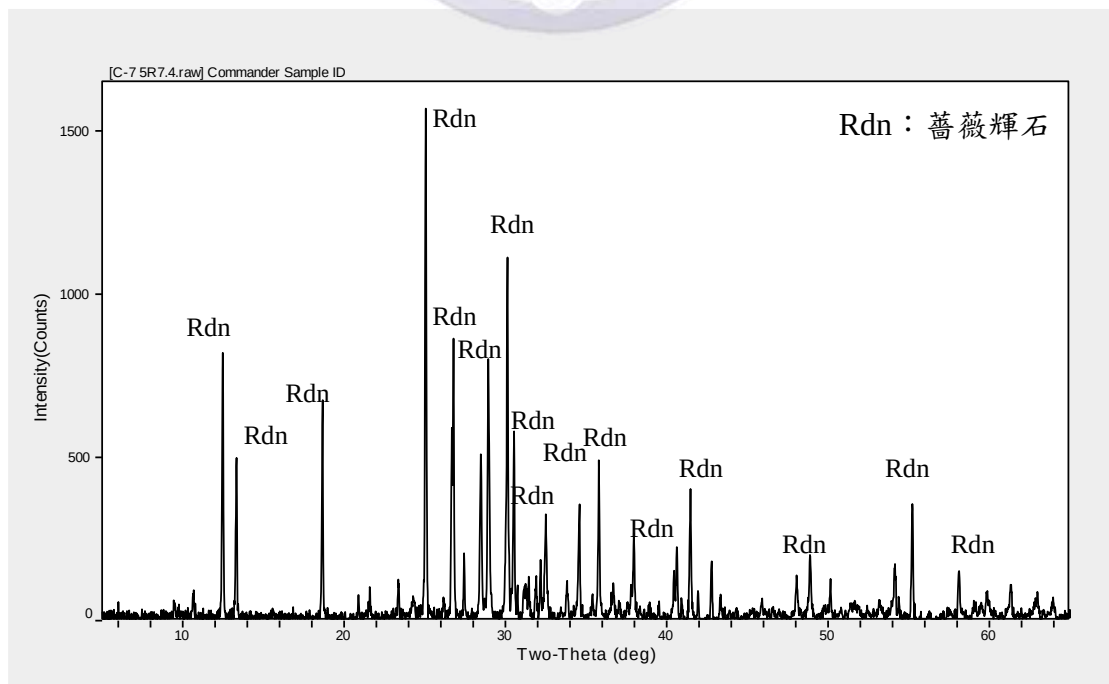
標本 C-4-3



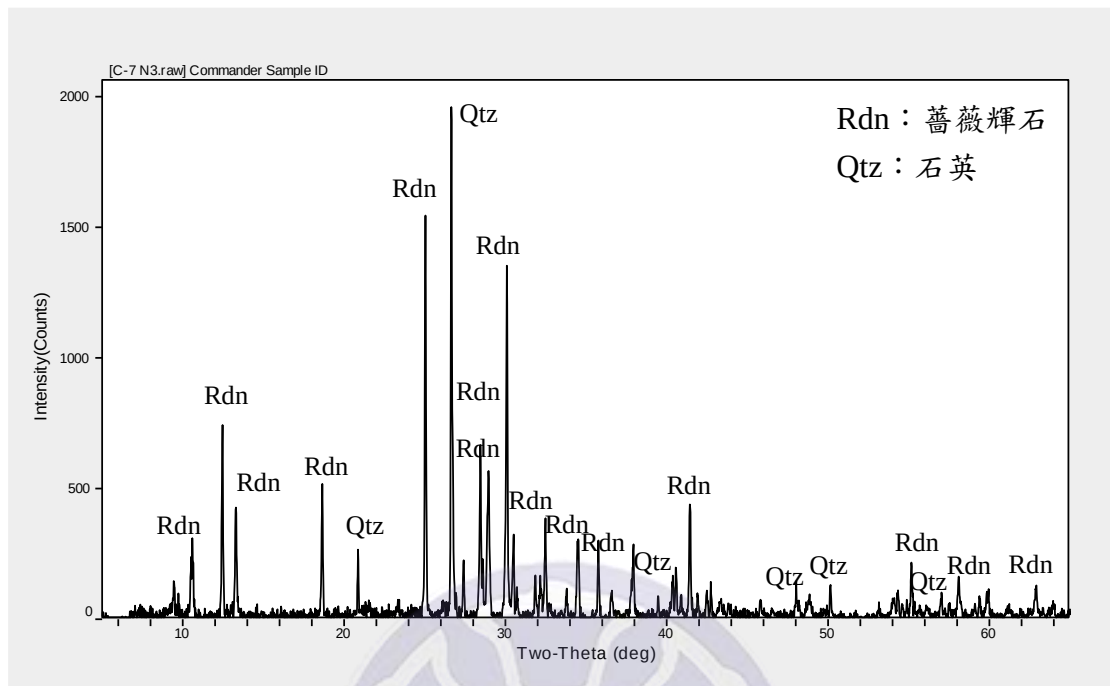
標本 C-5



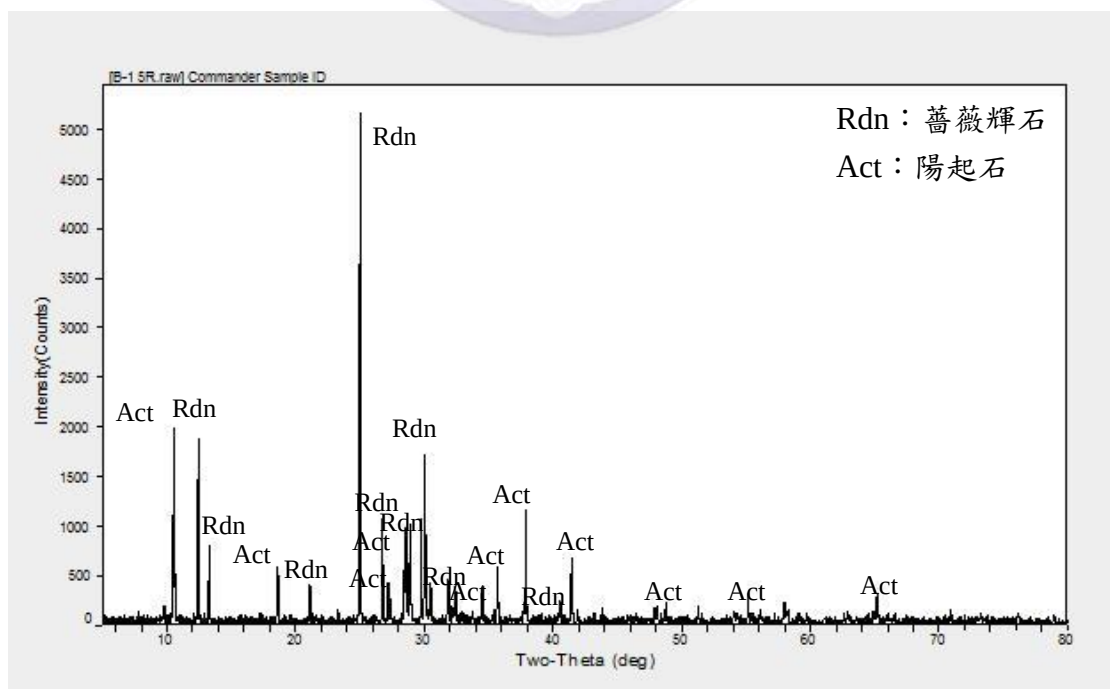
標本 C-7-1



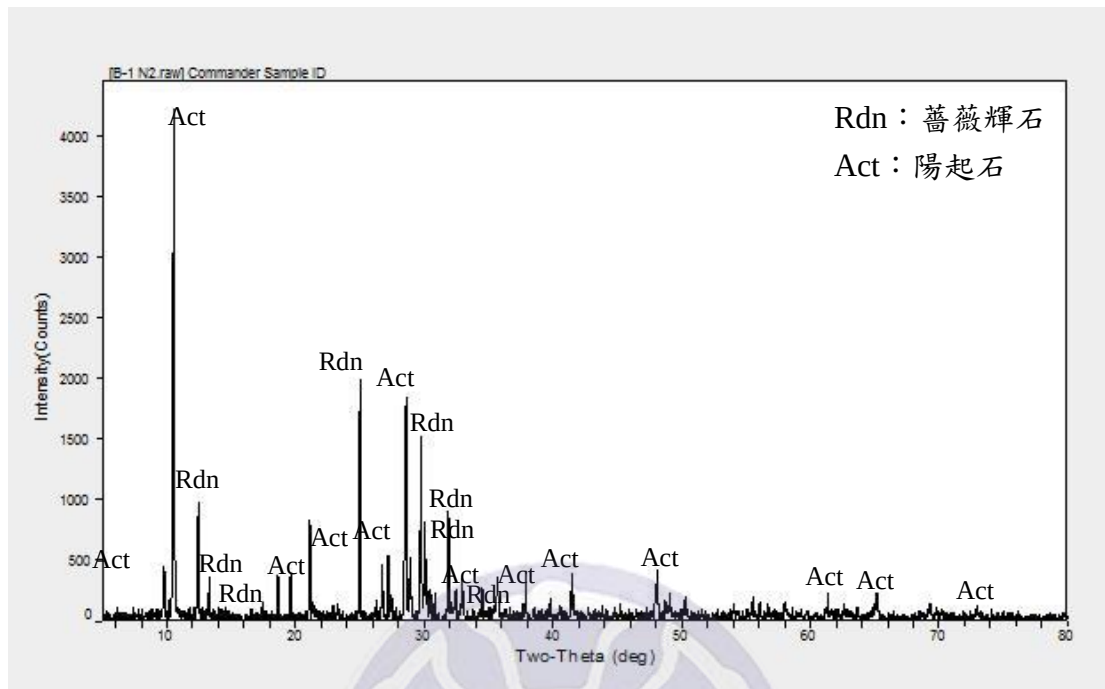
標本 C-7-2



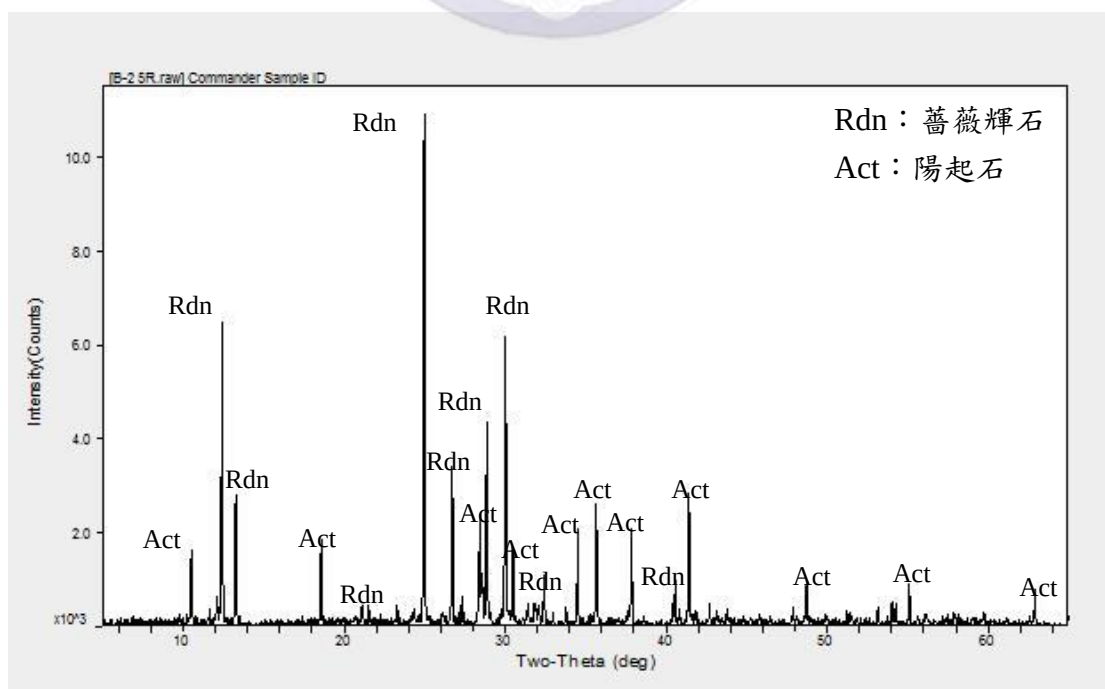
標本 B-1-1



標本 B-1-2



標本 B-2-1



標本 B-2-2

