

營建材料石綿鑑定檢測 技術之研究

計畫編號：096301070000G2023

執行方式：委託研究 協同研究 自行研究

執行單位：內政部建築研究所

研究主持人：蔡介峰、彭健文

內政部建築研究所 自行研究報告

中華民國 96 年 12 月

營建材料石綿鑑定檢測 技術之研究

內政部建築研究所 自行研究報告

中華民國 96 年 12 月

目 次

目次.....	I
表次.....	II
圖次.....	III
摘要.....	V
第一章 緒論.....	1
第一節 研究動機與目的.....	1
第二節 研究內容與進度說明.....	2
第三節 研究流程與步驟.....	3
第二章 石綿簡介.....	4
第一節 石綿特性.....	4
第二節 石綿危害說明.....	7
第三節 石綿管制現況.....	10
第四節 石綿種類.....	12
第五節 石綿鑑定方法.....	14
第三章 立體及偏光顯微鏡鑑定方法之建立.....	23
第一節 立體顯微鏡.....	23
第二節 偏光顯微鏡.....	25
第三節 纖維光學性質.....	31
第四節 鑑定方法之建立.....	38
第四章 試驗結果與建議.....	47
第一節 常見纖維資料庫之建立.....	47
第二節 96 年度委託技術服務執行成果.....	61
第三節 結論與建議.....	65
參考書目.....	66

表 次

表 1-2.1	研究內容與進度說明	2
表 2-1.1	石綿特性及可能應用產品	5
表 2-1.2	2003 年石綿生產量	6
表 2-4.1	角閃石纖維種類	13
表 2-4.2	石綿纖維化學成分組成	13
表 2-5.1	石綿纖維結晶型態	16
表 2-5.2	石綿繞射主波峰、對應相對強度	17
表 2-5.3	XRD-繞射鑑定石綿可能干擾物質	18
表 2-5.4	石綿鑑定方法比較	21
表 3-3.1	雙折射率定性表示方式	36
表 3-4.1	立體顯微鏡初步分類纖維表	40
表 4-1.1	Chrysotile matching wavelength (垂直方向)	48
表 4-1.2	Chrysotile matching wavelength (平行方向)	49
表 4-1.3	Amosite matching wavelength (垂直方向)	51
表 4-1.4	Amosite matching wavelength (平行方向)	52
表 4-1.5	Crocidolite matching wavelength (垂直方向)	54
表 4-1.6	Crocidolite matching wavelength (平行方向)	55
表 4-1.7	Tremolite matching wavelength (垂直方向) ..	57
表 4-1.8	Tremolite matching wavelength (平行方向) ..	58
表 4-1.9	Actinolite matching wavelength (垂直方向)	60
表 4-1.10	Actinolite matching wavelength (平行方向)	61
表 4-1.11	Anthophyllite matching wavelength (垂直) ..	63
表 4-1.12	Anthophyllite matching wavelength (平行) ..	64
表 4-2.1	本年度受理石綿鑑定委託技術服務案	72

圖 次

圖 1-3.1	研究流程與步驟	3
圖 2-1.1	石綿肺照片	8
圖 2-4.1	葉蛇紋石礦物	12
圖 2-5.1	XRD 繞射分析儀	15
圖 2-5.2	Bragg's Equation.....	16
圖 2-5.3	白石綿繞射圖譜	19
圖 2-5.4	白石綿等繞射圖譜.....	19
圖 2-5.5	白石綿電子顯微照片	20
圖 2-5.6	白石綿等繞射圖譜.....	21
圖 3-1.1	立體顯微鏡構造	23
圖 3-1.2	立體顯微鏡觀察纖維照片	24
圖 3-2.1	偏光顯微鏡構造	25
圖 3-2.2	偏光顯微鏡光路構造	27
圖 3-2.3	載物台中心點校正.....	28
圖 3-2.4	DP-20 數位擷取影像軟體畫面.....	29
圖 3-3.1	裱敷液折射率 1.55.....	31
圖 3-3.2	貝克線示意圖	32
圖 3-3.3	異向性物質多色性.....	33
圖 3-3.4	消光性示意圖	34
圖 3-3.5	消光性照片	34
圖 3-3.6	延長性示意圖	35
圖 3-3.7	Michel-Levy 圖	37

圖 3-4.1	樣品編號	38
圖 3-4.2	液（膏）狀樣品	39
圖 3-4.3	立體顯微鏡觀察液（膏）狀樣品照片	39
圖 3-4.4	破碎塊狀樣品照片	40
圖 3-4.5	研磨設備	41
圖 3-4.6	灰化設備	42
圖 3-4.7	點計數法	45
圖 3-4.8	面積比對法	46
圖 4-1.1	白石綿	48
圖 4-1.2	葉蛇紋石礦物	48
圖 4-1.3	褐石綿	49
圖 4-1.4	青石綿	50
圖 4-1.5	透閃石	51
圖 4-1.6	陽起石	52
圖 4-1.7	斜方角閃石	53
圖 4-1.8	礦物纖維	54
圖 4-1.9	玻璃纖維	55
圖 4-1.10	木質類纖維	56
圖 4-1.11	氫氧鎂石纖維	57
圖 4-1.12	鈣矽石纖維	58
圖 4-1.13	螺縈纖維	59
圖 4-1.14	聚酯纖維	60

摘 要

關鍵詞：石綿鑑定、纖維、偏光顯微鏡

本研究主要內容在依據美國環保署 EPA 600/R-93-116、美國職業衛生所 NIOSH 9002、ASTM P236、我國環保署 NIEA R401.21T 及 CNS 13970 等方法彙整建立性能實驗中心「石綿鑑定技術」標準作業程序，完成白石綿(chrysotile)、褐石綿 (Amosite)、青石綿 (Crocidolite)、透閃石(tremolite)、陽起石 (Actinolite)或斜方角閃石(Anthophyllite) 6 種石綿纖維及礦物纖維 (Mineral wool fibers)、玻璃纖維 (Glass fibers)、陶瓷纖維 (Ceramic fibers)、木質類纖維 (Paper fibers)、氫氧鎂石 (Brucite)、鈣矽石 (Wollastonite)、滑石 (Talc)、動物、人造合成纖維等非石綿纖維型態、顏色、消光性、多色性、色散染色、延長性、折射率、雙折射率、貝克線、中央光阻、結晶體光學資料庫之建立，俾利後續實驗室運作與 TAF 實驗室認證之申請。

ABSTRACT

keywords : identification of asbestos 、 fibers 、 PLM

This purpose of the research is to develop the related documents based on EPA 600/R-93-116,NIOSH 9002,ASTM P236,NIEA R401.21T and CNS 13970 and developing the test procedure of Performance Experiment Center ABRI.

The contents of this research are listed as follows:

1. Collect and compare the results of chrysotile, amosite, crocidolite, tremolite, actinolite, anthophyllite, mineral wool fibers, glass fibers, ceramic fibers, paper fibers, brucite, wollastonite, talc, animal fibers and man-made synthetic fibers.
2. Collect and compare the color, pleochroism, extinction, refractive index, sign of elongation, dispersion, staining, birefringence, retardation of the fibers.
3. Develop of TAF Laboratory Accreditation Procedure

第一章 緒論

第一節 研究動機與目的

「石綿」為本所綠建材標章評估基準項目之一，在綠建材通則之限制物質中明確規定建材不得含有石綿成份，我國行政院環境保護署亦公告，自民國 97 年 1 月 1 日起，全面禁止石綿使用於石綿瓦片、板、管、石綿水泥及纖維水泥板之製造，經濟部標準檢驗局亦配合刪除 CNS 3802 強化水泥板及 CNS 13777 纖維強化水泥板原料中之石綿，修改為石綿以外無機纖維；國外與我國貿易之國家如日本自 2006 年起全面禁止含有石綿的產品進口，南韓亦宣佈從 2008 起全面禁止生產、使用及進口石綿，歐盟已於 2005 年 1 月通令其成員國禁止進口、銷售與使用所有石綿產品，美國更早於 1992 年起全面禁止石綿及石綿製品(但仍可限制使用在新用途及紙製品上)，可見石綿的禁用、替代品之開發及污染之防治是世界各國之趨勢。

立體顯微鏡及偏光顯微鏡分析方法是目前塊狀樣品石綿分析應用最廣者，包括美國環保署 EPA 600/R-93-116、美國職業衛生所 NIOSH 9002、我國環保署 NIEA R401.21T 及 CNS 13970、ASTM P236 均採用之，前揭方法完全取決於分析人員的分析技巧及判斷，故分析人員必須明瞭如何操作立體顯微鏡、偏光顯微鏡，及有關各種石綿型態、顏色、消光性、多色性、色散染色、延長性、折射率、雙折射率、貝克線(Becke line)、中央光阻、結晶體光學判別技巧，並保持不斷練習，才能鑑定出建材中是否含有石綿。

本研究目的擬建立本所性能實驗中心「石綿鑑定」標準作業程序及判別準則，俾利後續實驗室運作，為產品驗證工作盡一份心力。

本計畫採用之方法主要包括以下項目

1. 文獻回顧法與標準之收集。
2. 專家諮詢。
3. 「石綿鑑定」標準作業程序之建立。
4. 實驗結果及討論

第二節 研究內容與進度說明

表 1-2.1 研究內容與進度說明

月次 工作項目	第一 月	第二 月	第三 月	第四 月	第五 月	第六 月	第七 月	第八 月	第九 月	第十 月	第十一 月	備註
相關資料收集	█											
NIOSH·CNS·EPA 標準彙析		█										
參訪 McCrone INSTITUTE						█						
期中簡報								█				
量測標準作業 程序建立				█								
操作手冊撰寫						█						
實驗結果及討 論									█			
資料庫建立										█		
規劃申請TAF認 證										█		
期末簡報											█	
繳交報告書											█	
預定進度 (累積數)	10 %	15 %	25 %	35 %	45 %	55 %	65 %	75 %	85 %	90 %	100 %	
說明：研究進度以粗線表示其起訖日期。												

第三節 研究流程與步驟

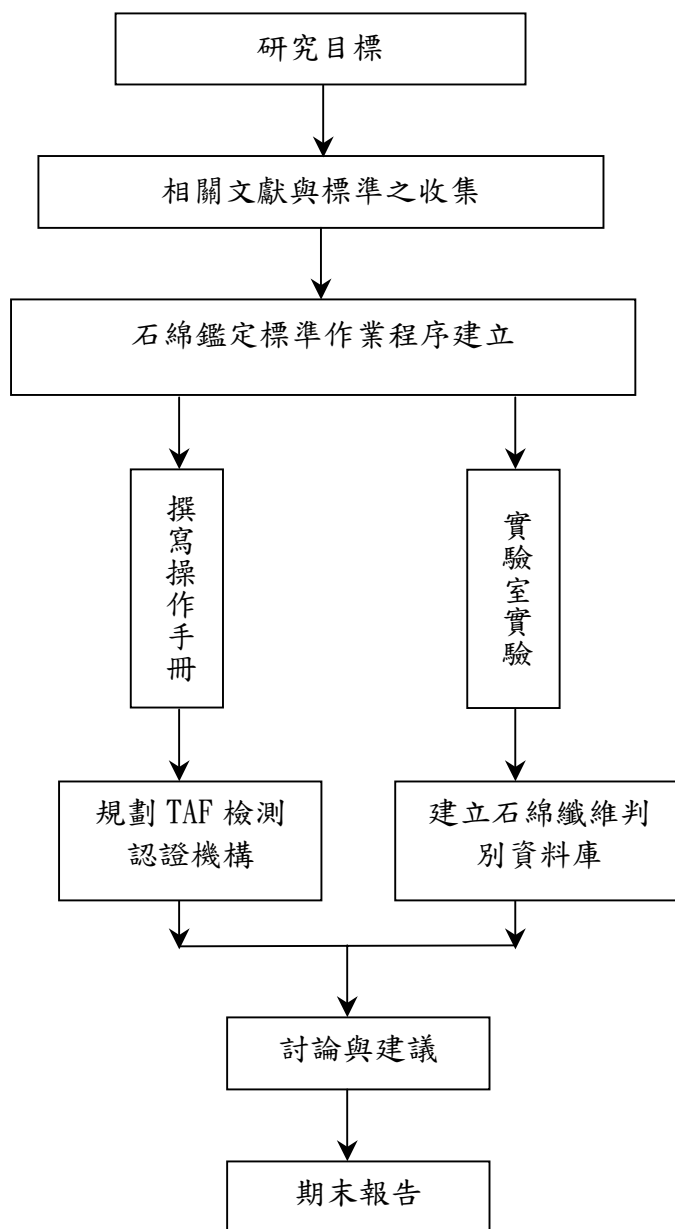


圖 1-3.1 研究流程與步驟

第二章 石綿簡介

第一節 石綿特性

石綿(asbestos)是天然纖維狀水合矽酸鹽礦物的通稱，因具有耐高溫、抗張力、絕緣、耐酸、耐鹼、耐磨及耐候等物理與化學特性，在過去被工業界視為瑰寶，而廣泛應用在工業用途上，到目前為止至少仍有 3000 種以上的應用產品，如隔熱材料、不燃建材、防銹漆、及紡織業製造等，其特性及可能應用產品如表 2-1-1 所示。

表 2-1.1 石綿特性及可能應用產品

特 性	可能應用產品
一、不燃性：耐高溫 (450~800°C 以上)	不燃建材、隔熱材料
二、抗張力：抗力强度高 (280,000~436,000 PSI)	石綿瓦
三、絕緣性：熱及電流不易傳導	電壓電磁消弧
四、耐候性：不易腐蝕變形、抗紫外線	石綿管、石綿浪板
五、親和性：表面積大 (易與其他物質緊密結合)	墊圈、墊片
六、耐磨耗性：柔軟、耐磨	煞車來令片
七、耐藥品性：不易受藥品、酸鹼侵蝕	防銹漆

根據美國地質調查所 (U. S. Geological Survey) 報告顯示[1]全球在 1900 ~2003 年間石綿開採了約 182.2 百萬噸,1975 年石綿開採達到 5 百萬噸高峰後,雖有逐年遞減趨勢,但 2003 年仍有 2.15 百萬噸石綿被開採,如表 2-1-2 所示。國內民國 94 年度石綿之總進口量約有 2,916 公噸,主要用途以製造剎車來令片為主,其次為石綿瓦、板等建材之製造。

表 2-1.2 2003 年石綿生產量

國家	石綿生產量 (噸)	備註
巴西	195,000	
加拿大	241,000	
中國	260,000	
哈薩克	353,000	
蘇聯	878,000	
其他國家	223,000	

第二節 石綿危害說明

雖然石綿有上述特性，但在開採、加工、生產或使用過程中，容易分裂成非常細的纖維，並可長時間浮游於空氣中。

經由呼吸道進入人體的石綿會停留沉積在肺部，或在胸膜、隔膜間間移動，長期吸入會導致石綿會導致呼吸困難、肺功能下降及石綿肺症（Asbestosis），更會在 10 年至 40 年後引致肺癌及間皮細胞瘤（Mesothelioma）等，故國際癌症研究中心(International Agency for Research on Cancer, IARC)在 1987 年將石綿分類為 1 group，確定對人類具致癌性[2]，倘若長期暴露於石綿，在加上有吸煙習慣，則得到肺癌的機率會有相乘的危機，根據統計吸煙石綿肺症患者患上肺癌的機率較正常人高出約 50 倍[3]，所以建議暴露於石綿的勞工應積極戒菸，石綿對健康危害說明如下：

（一）石綿肺症：

是指石綿所引起肺部瀰漫性間質纖維化的變化。當人體吸入大於 5 μ m 石綿纖維時，肺泡吞噬細胞無法完全吞入纖維並由纖毛運動排出呼吸道，導致細胞死亡，引發纖維化產生。

醫學臨床表現包括呼吸短促、胸痛及腹痛、乾咳、長期缺氧狀況下會發生指端變厚及寬（杵狀指）等等；可依據吸氣時肺兩側底部囉音，胸部 X 光可見瀰漫性兩側下肺野的間質浸潤，侷限性肺功能不全（FVC 下降，FEV1/FVC 正常），以及氣體交換障礙（一氧化碳擴散速率下降）來作診斷。病理診斷則必須發現肺組織有瀰漫性間質纖維病變，並同時有石綿小體（asbestos body）存在於組織切片內，方可診斷為石綿肺症。從初暴露至症狀出現通常要 10 年以上，但歐盟 1994 年之職業病診斷指引中提出石綿肺症之最短暴露期間是 5 年[4]。呼吸困難逐漸加重，常有咳嗽，痰少。末期病人常見杵狀

指。兩肺下野可聽到撚髮音。最後多死於肺感染，呼吸衰竭，肺心症或肺癌。

(二) 間皮細胞瘤：

是相當少見的原發性惡性腫瘤，在肋膜或腹膜都有可能發生此癌症。青石綿造成間皮細胞瘤的危險最高。其潛伏期很長，中間數是 35 年。歐盟 1994 年之職業病診斷指引中提出石綿導致間皮癌之最短暴露期間是 25 年以上。另根據 Dr. Antti Tossavainen [5] 研究報告顯示約每生產並使用 170 噸的石棉將至少導致一人死於間皮細胞瘤。

(三) 癌症：

石綿肺症與肺癌的發生有明顯的統計相關性，危險比可達九倍。一般而言，角閃石礦群纖維較易引起肺癌，大於 $5\ \mu\text{m}$ 中長度的石綿纖維比小於 $5\ \mu\text{m}$ 短纖維更具致癌性。石綿所導致的肺癌，其潛伏期可達二十年以上。歐盟 1994 年職業病診斷指引石綿導致肺癌最短之暴露期間是 15 年以上；另相關研究亦指出飲用水中的石綿與食道癌、胃癌及大腸癌均有關。



圖 2-1.1 石綿肺

(四) 石綿危害案例[6]

石綿暴露對健康的危害，自二十世紀初開始被重視。1906 年法國 Auribault 女士，報告了 50 例在石綿工廠工人，懷疑死於石綿暴露的案例。1924 年 Cooke 醫師發表醫學文獻上第一例石綿肺 (asbestosis) 罹患率高於一般民眾而引起醫界之重視，其後數年，惡性間皮瘤也被懷疑和石綿暴露有關，病例報告陸續被提出。

目前在台灣只有零星病例與石綿相關疾病有關 (1 位石綿肺、11 位間皮腫瘤，2003)，與先進國家比例懸殊，且未受大眾關心，但台中石綿水管風波引起人們對石綿致癌問題的關切，其實在日本與歐洲，石綿釀成的災禍正持續擴大當中，尤其是日本。日本自 1955 年開始進口石綿，至 1974 年到達尖峰 (352,316 噸)，由於石綿致癌潛伏期長達 30 年，又因過去過度輕視石綿所可能造成的居民公害問題，以致無法正確掌握石綿對人體的危害，所以近年來因石綿相關疾病而死亡事件頻傳，厚生勞動省從 1995 年起統計因間皮腫瘤死亡的人數，由當時 500 人到 2004 年時已達 953 人，死亡人數逐年增加，受害人多半為職業暴露者，但最近發現不只是員工，連員工眷屬、工廠週邊、建築工地附近居民，都傳出罹患間皮腫瘤的案例，值得我國引以為鑑。

第三節 石綿管制現況

鑒於石綿危害，各國均加強管制，如行政院環境保護署民國 78 年已公告為列管之毒性化學物質，管制其製造，輸入，輸出、販賣、運送、使用、儲存或廢棄等；民國 89 年公告的「公告多氯聯苯等 161 列管編號毒性化學物質使用用途限制等運作管理事項」也將石綿列入管理項目；另公告除青石綿與褐石綿外，仍可使用於下列用途別，且不得再用於新換裝之飲用水管及水管配件。

1. 研究、試驗、教育。
2. 合成樹脂(增黏劑)、防水膠、填充縫膠。
3. 防火、隔熱、保溫材料。
4. 石綿帶、布、繩索、墊片面。
5. 石綿過濾器、瀝青(填充料)。
6. 剎車來令片、建材填縫帶、石綿防銹漆、纖維水泥板。

自民國 97 年 1 月 1 日起，全面禁止石綿使用於石綿瓦片、板、管、石綿水泥及纖維水泥板之製造，經濟部標準檢驗局亦配合刪除 CNS 3802 強化水泥板及 CNS 13777 纖維強化水泥板原料中之石綿，修改為石綿以外無機纖維；內政部營建署公告建築相關法規均已刪除列舉石綿建材之規定；本所公告之綠建材標章通則明訂不得含有石綿之規定。

在石綿空氣污染防治部份，行政院環境保護署公告「空氣污染防治法」施行細則第二條中，規範「石綿及含石綿物質」為空氣污染物中的毒性污染物，「固定污染源空氣污染物排放標準」中，對石綿訂定的排放標準為「肉眼不可見」。此外行政院勞工委員會公告「勞工作業環境空氣中有害物容許濃度標準」石綿纖維的空氣中容許濃度為每立方公尺一根石綿纖維。

在石綿廢棄物管理方面，行政院環境保護署民國 90 年修訂公告「有害事業廢棄物認定標準」中，對石綿及其製品廢棄物，指的是具有易飛散性

及下列性質之一的事業機構生產之廢棄物：

1. 製造石綿防火、隔熱、保溫材料及煞車來令片等磨擦材料研磨、修邊、鑽孔等加工過程中產生易飛散性之廢棄物。
2. 施工過程中吹噴石綿所產生之廢棄物。
3. 更新或移除使用含石綿之防火、隔熱或保溫材料過程中，所產生易飛散性之廢棄物。
4. 盛裝石綿原料袋。
5. 其他含有百分之一以上石綿且具有易飛散性質之廢棄物。

另依「事業廢棄物儲存清除處理方法及設施標準」之規定，含石綿廢棄物應先經濕潤處理，再以厚度萬分之七十五公分以上的塑膠袋雙層盛裝後，至於堅固的容器中，或採具有防止飛散措施的固化法處理。

國外與我國貿易之國家如日本 2005 年 9 月限制進口自行車石綿含量不得超過 1% 的規定，2006 年 9 月全面禁止含有石綿的產品進口，並其中規定”對進口自行車或車閘需進行海關申報，並得到海關的確認，明確其石綿含量不超過 0.1%”並向世界貿易組織（World Trade Organization, WTO）正式通報。

南韓亦宣佈從 2008 起全面禁止生產、使用及進口石綿含量超過 0.1% 的各類產品。目前，南韓已全面禁止使用石綿紡織品、石綿電子電器、石綿粘附劑及石綿水泥瓦等。

歐盟於 1983 年透過第 83/478/EEC 指令規定禁用青石綿及其產品（除了第三種使用目的例外），也規定凡是含有石綿纖維的產品，必須要標示清楚。另於 1999 年透過第 1999/77/EEC 指令，將已在 9 個歐盟國家所執行的白石綿禁用令加以一致化，並確定 2005 年後全面禁用。

美國於 1992 年起全面禁止石綿及石綿製品（但仍可限制使用在新用途及紙製品上），英國於 1992 年起禁止使用青石綿及褐石綿。

第四節 石綿種類

石綿纖維可分為兩大類：蛇紋石礦群（serpentines）及角閃石礦群（amphiboles）分述如下：

（一）蛇紋石礦群：

蛇紋岩也是形成於海洋地殼較深部的火成岩，稱為深成岩。岩性屬於基性的火成岩，含有大量鎂、鐵成分，是海洋板塊岩石群中常見的岩石。為含水矽酸鹽類，有 MgO 37~40%以及少量之鉻、鎳、鐵等成分。塊狀呈油脂至蠟狀光澤，纖維狀的具絹絲光澤，顏色綠至暗綠，條痕白色，斷口貝殼狀至多片狀，硬度 3~5，比重 2.55~2.60，板狀或葉狀者稱為葉蛇紋石（Antigorite）或蜥蛇紋石（Lizardite），呈纖維狀者稱為白石綿（chrysotile），其化學式 $Mg_3Si_2O_5(OH)_4$ 。

台灣地區出露的蛇紋岩大多以零星的塊體分佈在中央山脈的東翼及海岸山脈。前者的出露地點包括烏石鼻、豐田、萬榮、瑞穗、玉里等地。海岸山脈的蛇紋岩體屬於外來岩塊，主要分佈在富里、電光、台東的虎頭山及蘭嶼等地。



圖 2-4.1 葉蛇紋石礦物

（二）角閃石礦群：

由複雜氧化鎂、氧化鐵及氧化矽等組成，屬於變質岩，依岩石晶系及化學成分組成共分 5 種，如表 2-4.1 及 2-4.2 所示：

表 2-4.1 角閃石纖維種類

角閃石纖維種類	相同化學成分 組成礦物
1. 褐石綿 (Amosite) : 鎂鐵閃石 (Gummingtonite) : $Mg_{4.9}Fe_{2.1}Si_8O_{22}(OH)_2 \sim Mg_{2.1}Fe_{4.9}Si_8O_{22}(OH)_2$ 鐵閃石 (Grunerite) : $Mg_{2.1}Fe_{4.9}Si_8O_{22}(OH)_2 \sim Fe_7Si_8O_{22}(OH)_2$	非纖維鎂鐵閃石、 非纖維鐵閃石
2 青石綿 (Crocidolite) : $Na_2Fe^{+2}Fe_2^{+3}Mg_2Si_8O_{22}(OH)_2 \sim Na_2Fe_3^{+2}Fe_2^{+3}Si_8O_{22}(OH)_2$	鈉閃石 (Riebeckite)
3. 透閃石 (tremolite) : $Ca_2Mg_5Si_8O_{22}(OH)_2 \sim Ca_2Mg_4FeSi_8O_{22}(OH)_2$	非纖維透閃石
4. 陽起石 (Actinolite) : $Ca_2Mg_4FeSi_8O_{22}(OH)_2 \sim Ca_2Fe_4MgSi_8O_{22}(OH)_2$	非纖維陽起石
5. 斜方角閃石 (Anthophyllite) : $Mg_7Si_8O_{22}(OH)_2 \sim Mg_4Fe_3Si_8O_{22}(OH)_2$	非纖維斜方角閃石

表 2-4-2 石綿纖維化學成分組成

石綿纖維種類	CaO	FeO	Fe ₂ O ₃	MgO	Na ₂ O	SiO ₂	H ₂ O
1. chrysotile	—	—	—	3	—	2	2
2. Gummingtonite	—	2.1~ 4.9	—	4.9~2.1	—	8	1
3. Grunerite	—	4.1~7	—	2.1~0	—	8	1
4. Crocidolite	—	1~3	2	2~0	2	8	1
5. tremolite	2	0~1	—	5~4	—	8	1
6. Actinolite	2	1~4	—	4~1	—	8	1
7. Anthophyllite	—	0~3	—	7~4	—	8	1

第五節 石綿鑑定方法

石綿是纖維狀結晶礦物，常見鑑定方法共有 XRD-繞射法、電子顯微鏡分析法、紅外線光譜分析法、立體及偏光顯微鏡分析法，分述如下：

(一) XRD-繞射法：

XRD 很早就廣泛的應用於礦物的定性及定量分析包括，由於每種石綿都是結晶礦物，結晶型態如表 2-5.1 所示，因此可用 XRD 分析，包括 EPA 600/R-93-116[7]、NIOSH 9000-1994 [8]、JISA1481-2006[9]等標準方法均有提到如何以 XRD 進行石綿分析，鑑定方式整理如下：

1. 原理：

當 X 光照射晶體時，光束不僅由表面層之原子所反射，而且從相當深的原子層反射，符合建設性干涉現象就是布拉格定律(Bragg' s Law)，如圖 2.5-2 所示，由所測得之各個繞射峰之 θ 值可推測其對應之 MILLER 指標(h, k, l)晶面，及 JCPDS 資料庫，即可比對出對應晶體物質。

2. 前處理：

2.1 研磨 (Milling)：分析時先進行研磨，並放置於 110 °C 烘箱至少 4 小時，取通過 10- μ m 篩 1 ~10 grams 樣品進行分析，稱重精度 0.01mg。

2.2 灰化 (Ashing)：若含有膠結物質，無法研磨均質化，粒徑大小分布、膠結物質干擾問題，易影響鑑定結果，EPA600/R-93-116 建議可將試件放入烘箱，溫度設定 300~500°C，置放約 6 小時。

2.3 酸處理 (Acid Washing)：

2.3.1. EPA600/R-93-116 建議取 0.1-0.5 grams 樣品置倒入 20-30 ml 3N 鹽酸試劑內，約 5 分鐘後過濾取出，若樣品含碳酸鹽，

建議放至約 15-20 分鐘。

2.3.2 JISA1481-2006 採用甲酸(Formic acid 20%20ml+40ml)進行酸處理，其方法係取 100mg 樣品，倒入甲酸試劑內，超音波震盪約 6 分鐘過濾取出。

3. 分析：

XRD 分析儀設定為 Cu target X-ray tube，slit 設定 1° ，繞射後可得光譜數據，參照標準石綿石綿繞射主波峰、對應相對強度之繞射圖譜及 JCPDS，作為鑑別及定量計算參考依據，詳表 2-5.2 所示。

4. 干擾：

XRD-繞射法無法區別纖維與非纖維石綿礦物、無法準確區別角閃石礦群石綿，粒徑大小分布、基質干擾等問題，分析時應特別留意，部份可能干擾物質，詳表 2-5.3 所示。。



圖 2-5.1 XRD 繞射分析儀

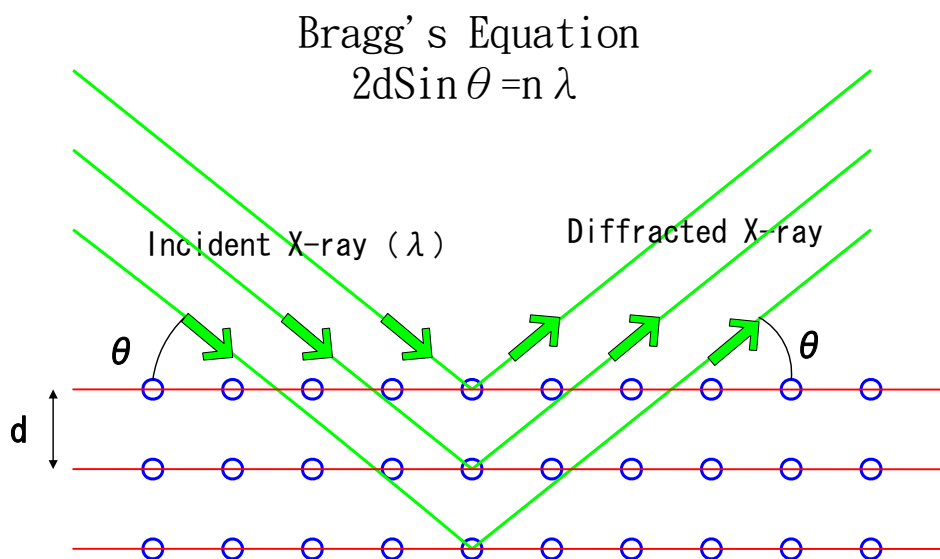


圖 2-5.2 Bragg's Equation

表 2-5-1 石綿纖維結晶型態

石綿纖維種類	結晶型態
1. 白石綿	單斜結晶系 (monoclinic crystal system)
2. 褐石綿	單斜結晶系
3. 青石綿	三斜結晶系 (triclinic crystal system)
4. 透閃石	單斜結晶系
5. 陽起石	三斜結晶系
6. 斜方角閃石	斜方結晶系 (orthorhombic crystal system)

表 2-5.2 石綿繞射主波峰、對應相對強度 (EPA 600/R-93-116)

石綿纖維種類	主波峰及對應相對強度 (Å)			JCPDS 編號
Chrysotile(Serpentine)	7.31 ₁₀₀	3.65 ₇₀	4.57 ₅₀	21-543
	7.36 ₁₀₀	3.66 ₈₀	2.45 ₆₅	25-645
	7.10 ₁₀₀	2.33 ₈₀	3.55 ₇₀	22-1162(theoretical)
Amosite (Grunerite)	8.33 ₁₀₀	3.06 ₇₀	2.756 ₇₀	17-745 (nonfibrous)
	8.22 ₁₀₀	3.060 ₈₅	3.25 ₇₀	27-1170 (UICC)
Anthophyllite	3.05 ₁₀₀	3.24 ₆₀	8.26 ₅₅	9-455
	3.06 ₁₀₀	8.33 ₇₀	3.23 ₅₀	16-401(synthetic)
Crocidolite (Riebeckite)	8.35 ₁₀₀	3.10 ₅₅	2.720 ₃₅	27-1415(UICC)
	8.40 ₁₀₀	3.12 ₅₅	2.726 ₄₀	19-1061
Actinolite	2.72 ₁₀₀	2.54 ₁₀₀	3.40 ₈₀	25-157
Tremolite	8.38 ₁₀₀	3.12 ₁₀₀	2.705 ₉₀	13-437
	2.706 ₁₀₀	3.14 ₉₅	8.43 ₄₀	20-1310(synthetic)
	3.13 ₁₀₀	2.706 ₆₀	8.44 ₄₀	23-666(synthetic mixture w/richterte)

表 2-5.3 XRD-繞射鑑定石綿可能干擾物質 (EPA 600/R-93-116)

石綿纖維種類	主波峰位置	可能干擾物質
Serpentine Chrysotile	7.3	Nonasbestiform serpentines, (antigorite, lizardite). Chlorite, vermiculite, sepiolite, kaolinite, gypsum
	3.7	Nonasbestiform serpentines (antigorite, lizardite), chlorite, vermiculite, halloysite, cellulose
Amphibole Amosite (Grunerite)	3.1	Nonasbestiform amphiboles (grunerite-cummingtonite, anthophyllite, riebeckite, tremolite), mutual interferences, talc, carbonates
Anthophyllite Crocidolite (Riebeckite) Tremolite Actinolite	8.3	Nonasbestiform amphiboles (grunerite-cummingtonite, anthophyllite, riebeckite, tremolite), mutual interferences

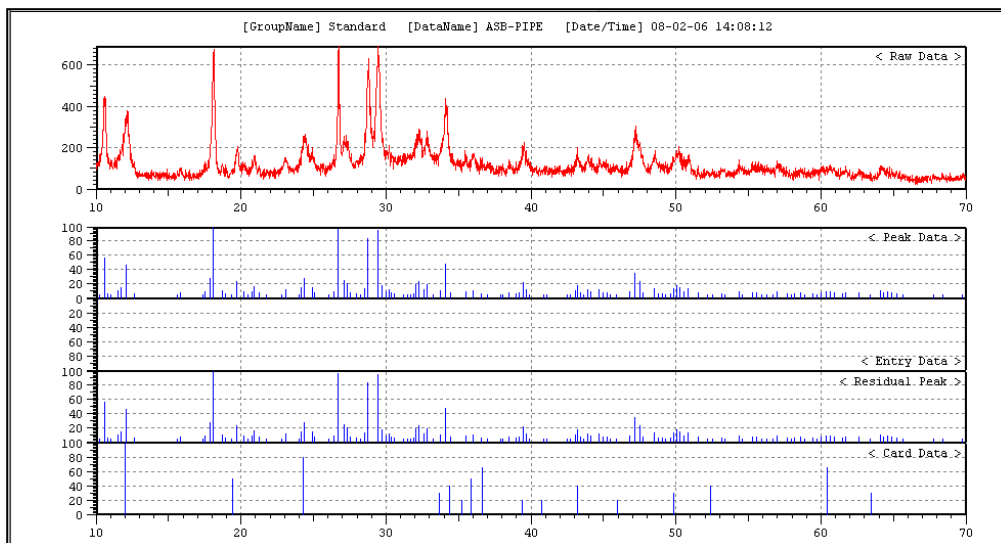


圖 2-5.3 白石綿繞射圖譜 (本研究整理)

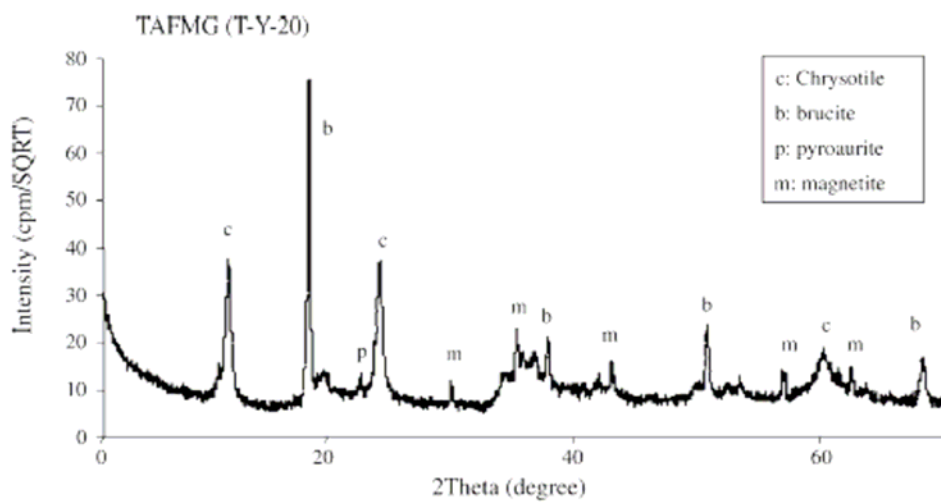


圖 2-5.4 白石綿等 XRD 繞射圖譜[12]

(二) 電子顯微鏡法：

係利用電子影像及EDX (Energy dispersive X-ray system) 系統分析來判斷石綿，並常搭配相位差顯微鏡使用，EPA 600/R-93-116[7]、NIOSH 7402-1994 [10]等標準方法均有提到如何以電子顯微鏡進行石綿分析。

此法可以偵測小於 $0.3\mu\text{m}$ 纖維、適合如空氣試體微量分析，分析時以 0.5 to 16 L/min 換氣率將試驗空間空氣抽至試驗薄膜上，並檢視是否有纖維存在，若有纖維存再進一步分析，此法最小偵測極限可達 0.01 fiber/cc；但分析速度慢前、處理耗時、相近化合物會有干擾現象及分析儀器昂貴是其缺點。



圖 2-5.4 白石綿電子顯微照片[11]

(三) 紅外線光譜分析法：

石綿纖維先以立體雙眼顯微鏡做外觀的檢視之後，以適當的量，大約是 250ug 和鹵素化合物（一般是使用溴化鉀 KBr）充分混合，再用壓片槽打錠，成型的小薄片就可以放到儀器中分析，並記錄其紅外線吸收光譜。

石綿礦是帶有氫氧基的矽酸鹽礦，在 IR 光譜會有兩個主要的吸收帶，其中一個在波長 $850\text{--}1150\text{cm}^{-1}$ 的地方，這是由於構造上的 Si-O 基的伸縮震動(stretching vibrations)所引起，另一個吸收帶是在 $3500\text{--}3700$

cm^{-1} 處的 OH 基的伸縮震動，另外，角閃石類在波長小於 800cm^{-1} 的地方會有吸收，這是矽的震動，金屬-氧鍵的伸縮以及 Si-O 彎曲震動，但每個吸收峰的確實位置則是受到結構中的陽離子的影響，因此組成不同的纖維有不同的 IR 光譜，但若仔細檢視每一張光譜，還是可以鑑別出各種石綿。

在有干擾物質存在時，IR 的鑑別力會大受影響，在做 IR 分析時，應該選擇以將母岩物質除盡的纖維。

目前紅外線光譜分析法並不太適於定量分析，因為樣品中可能混合有其他種類的石綿干擾分析，以致不易判讀光譜。但這種方法的優點在於其可以迅速地分析，並只需少量的樣品即可，儀器設備較 X 射線繞射分析或電子顯微鏡等便宜。

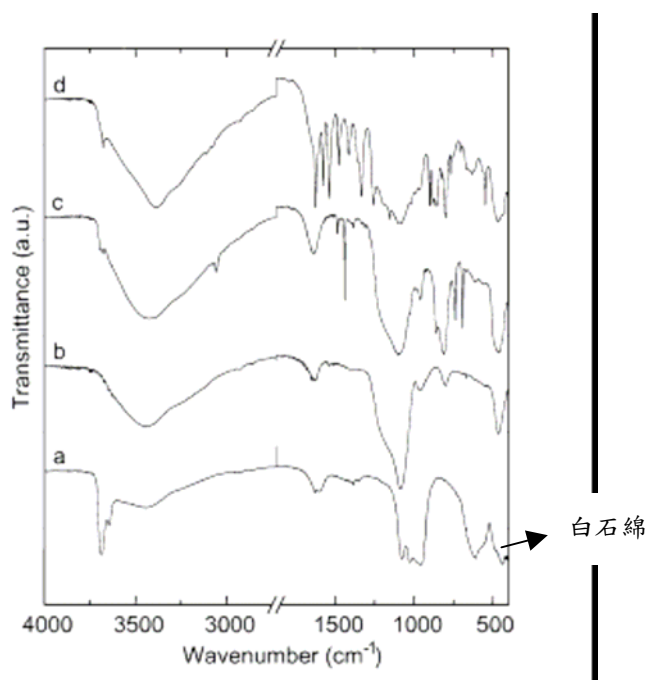


圖 2-5.5 白石綿等繞射圖譜[12]

(四) 立體及偏光顯微鏡分析法：

係利用石綿結晶體不同光學特性，判斷各種石綿種類，此法可完全分析石綿種類、分析速度快、靈敏度高、可靠性高；但無法偵測小於 $0.3\ \mu\text{m}$ 纖維，偵測極限為 1%，儀器操作人員應熟悉各類纖維型態、顏色、

消光性、延長性、折射率、雙折射率、貝克線等光學特性、熟悉單偏極、正交偏極、中央光阻等操作技巧，否則容易誤判，相關原理及儀器操作詳下章節，另各種鑑定方法比較詳表 2-5.4 所示。

表 2-5.4 石綿鑑定方法比較

鑑定方法	優點	缺點
紅外線光譜分析法	1. 適合例行性高含量分析	1. 無法區別角閃石礦群石綿 2. 基質干擾嚴重 3. 靈敏度不高
XRD-繞射法 (NOISH 9000) (JIS A1481-2006)	1. 具有光譜圖 2. 適合輔助鑑定	1. 無法區別纖維與非纖維 2. 無法區別角閃石礦群石綿 3. 基質干擾嚴重
穿透式電子顯微鏡 掃描式電子顯微鏡 (NOISH 7402)	1. 可以偵測小於 0.3 μm 纖維 2. 高靈敏度 3. 適合微量分析	1. 分析速度慢 2. 前處理耗時 3. 相近化合物會有干擾現象 4. 儀器昂貴
偏光顯微鏡法 (NIOSH 9002) (ASTM P236) (EPA 600) (NIEA R401.21T) (CNS 13970)	1. 一般性儀器 2. 可以完全分析石綿種類 3. 分析速度快 4. 靈敏度高 5. 可靠性高	1. 無法偵測小於 0.3 μm 纖維 2. 偵測極限 1%

第三章 立體及偏光顯微鏡鑑定方法之建立

本章之內容包括：SZ40-TRCTV 立體顯微鏡、BX51 偏光顯微鏡及 DP-20 影像擷取系統之操作，及有關消光性、多色性、色散染色、延長性、折射率、雙折射率、貝克線、中央光阻、結晶體光學判別技巧之整理，詳細說明如下所述：

第一節 立體顯微鏡

(一) 構造：

兩個獨立，同一配合顯微鏡系統，可調整兩眼間距(最少 55-75mm 範圍)，具攝影轉接環具有可聚焦微米刻度之目鏡，目鏡具有屈光度環可單獨聚焦，結合目鏡及接物鏡可產生最大放大倍率 100×以上。

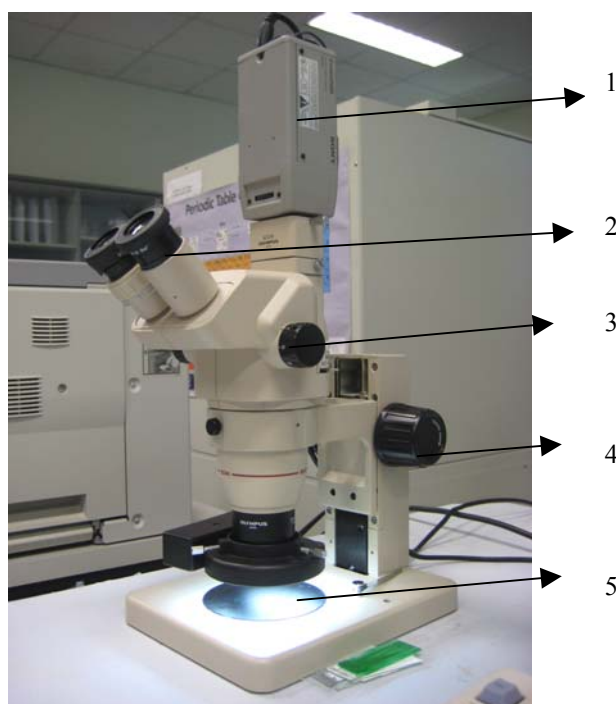


圖 3-1.1 立體顯微鏡構造

1. 數位擷取影像系統：

含 SONY SSC DC-50A 1/2" CCD 及影像補捉卡，促進同步擷取視

野影像，強化鑑定判定性能。

2. 目鏡：

含屈光度調整鈕，可單獨聚焦。

3. 焦距倍率調整鈕。

4. 焦距鈕。

5. 白平板及樣品夾。

(二) 操作步驟：

1. 將欲觀察之樣品至於白平板上。

2. 打開燈源之開關。

3. 觀察者經由雙眼觀察筒之目鏡處進行觀察。

4. 利用對焦距鈕、焦距倍率調整鈕來達成樣品之影像對焦。

5. 觀察完畢，需將樣本移除並將燈源關閉。

(三) 維護保養：

1. 當顯微鏡停止使用時，覆蓋防塵罩防止灰塵污染。

2. 隨時保持設備清潔，可以使用棉布或軟皮擦拭，避免用醇類溶劑擦拭機體之油漆表面。

3. 特別小心避免腐蝕性化學品碰觸到機體和光學元件。

4. 光學元件必須保持清潔，可使用乾的軟質毛刷輕輕將玻璃表面的灰塵清除。



圖 3-1.2 立體顯微鏡觀察纖維照片

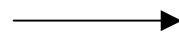
第二節 偏光顯微鏡

(一) 構造：

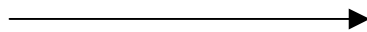
為無限遠光學系統，含 12 伏 100 瓦穿透式底座光源、圓形旋轉式可校正中心式載物台、偏光專用聚光鏡、360°旋轉式偏光片 (Polarizer) 及 分析片 (Analyzer)、色散染色目鏡等。



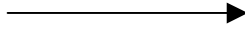
1



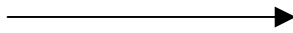
7



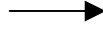
8



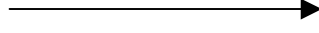
9



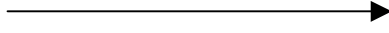
10



11



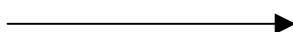
3



24

4

5



6

圖 3-2.1 偏光顯微鏡構造

1. DP-20 數位擷取影像系統：

畫素： ≥ 200 萬、曝光時間範圍：1/20000 秒~2 秒、影像顯示可輸出到電腦螢幕或直接連結到電腦由軟體控制、影像分析軟體：具有量測點到點、圓周長、圓面積、兩圓之間之距離及顯示比例尺等功能，同步擷取視野影像，強化鑑定判定性能。

2. 目鏡：

廣角 10 倍接目鏡，視野數 22mm φ ，其中之一內附十字標線，在目鏡裏頭，我們看到有十字絲，它們的方向，可以利用目鏡的轉動來改變，不過一般是和起偏鏡和分析鏡的偏光方向平行，另可更換 10x 10 網格標線，俾利點計數法觀察。

3. 光路選擇拉桿：

可以改變由目鏡觀察或由數位擷取影像系統之螢幕觀察。

4. Bertrand 透鏡：

分析鏡的上方，可以利用旋鈕，將之在光路上轉進或轉出。當它轉進光路中的時候，在目鏡裏，載物台上的物體，是看不清楚的，但是卻可以觀察到經過特殊製作的礦物薄片的干涉圈。

這種透鏡，主要的用途，是把干涉圈的影像，提高到目鏡焦點位置，並加以放大，讓我們看的清楚些，另可協助調整中央光阻操作模式。

5. 分析鏡：

可插入式 360° 旋轉之分光片 (Analyzer)，最小讀數至 0.1°，可以從鏡筒中推進或拉出。它所通過的平面偏光，是作東西向的振動，

和下面起偏鏡，恰好以直角相交。

6. 互補板：例如 $550\pm 20\text{mm}$ ，延遲「第一級紅色」。

7. 接物鏡：

附帶有 4 個物鏡，分別 4 倍、10 倍、20 倍、40 倍及，物鏡用處，在把觀察的物體放大，使產生一清晰的影像。

8. 圓形旋轉式可校正中心式載物台：

載物台，這是放置玻璃薄片的地方，可 360° 旋轉，邊緣刻有分劃，能夠讓我們知道旋轉的角度，刻度至 1° ，最小游標讀至 $6'$ ，可設定每隔 45° "click" 之功能，附移動式玻片夾。

9. 對比光圈及起偏鏡：

可調式光圈 $2\text{mm} - 21\text{mm}\varphi$ 、可 360° 旋轉式起偏鏡(Polarizer)

10. 光源供應器：

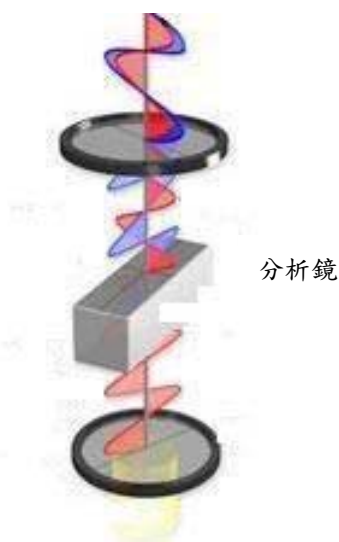
12 伏 100 瓦穿透式底座光源，可調整亮度 0-12V，底座內藏 LBD-IF, ND6, ND25 三種濾光片，光線強度以 LED 燈指示於基座上。

11. 視野光圈：可調整視野大小

12. 亮度調整鈕：可調整亮度

(二) 原理：

偏光顯微鏡光源供應器所產生的光源具有多面振動方向，而起偏鏡或分析鏡如同單一方向之柵欄，當光線通過此柵欄時，只有與其同方向之光線可通過，其餘振動方向之光線都會被擋住，此種單一振動方向之光線稱為偏光，利用此一特性觀察具有多折射率物質，可呈現特有的色彩或型態，如圖 3-2.2 所示。



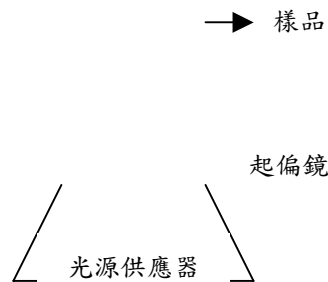


圖 3-2.2 偏光顯微鏡光路構造

(三) 操作步驟：

1. 將欲觀察之樣品至於載物台。
2. 打開燈源之開關。
3. 調整光路選擇拉桿。
4. 觀察者經由雙眼觀察筒之目鏡處進行觀察。
4. 利用對焦距鈕、焦距倍率調整鈕來達成樣品之影像對焦。
5. 載物台中心點校正：
 - 5.1 在視野中找一個容易辨認的點(1)，將該點移動到目鏡中的十字線的中心點，如圖 3-2.3 所示。
 - 5.2 旋轉載物檯時，該點會以一個圓的方式旋轉，調整載檯的兩根調整桿使該移動的假想圓的圓心移動到目鏡十字線的中心點約一半位置。
 - 5.3 移動(1)點到目鏡十字線的中心點。
 - 5.4 重覆步驟(5.2)和(5.3)，直到轉動載物檯時，(1)點仍在十字線的中心。

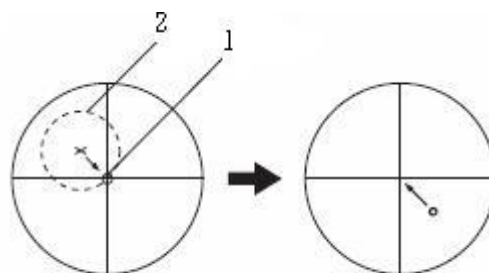
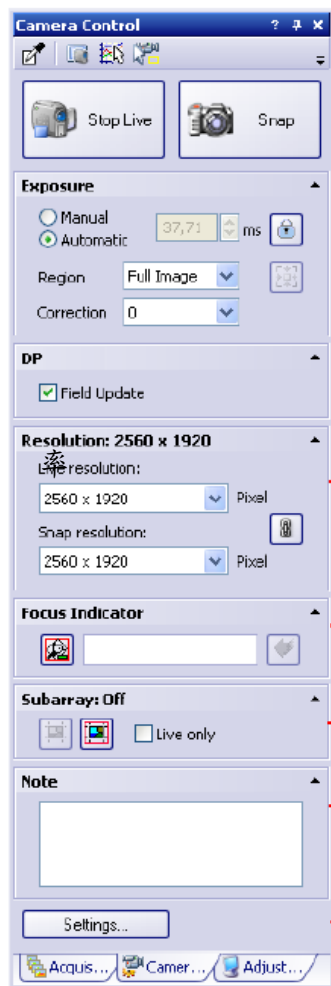


圖 3-2.3 載物台中心點校正

6. 調整顯微鏡視野光圈、對比光圈、Bertrand 透鏡等，以達到 kohler Illumination 狀態（最佳解析度）。
7. 單偏極觀察：
 - 7.1 分析鏡移出光路。
 - 7.2 可觀察樣品型態、顏色、多色性、貝克線、折射率、估算樣品大小等，利用 Bertrand 透鏡調整中央光阻。
8. 正交偏極觀察：
 - 8.1 分析鏡移入光路。
 - 8.2 配合 Michel-Levy 圖可觀察樣品雙折射率，插入互補板可觀察樣品延長性，旋轉載物台可觀察樣品消光性。



9. DP-20 數位擷取影像系統操作：

- 9.1 移動樣品正確的焦距。
 - 9.2 檢查顏色的表現(如果須要的話做一次白平衡)
 - 9.3 檢查亮度如果須要的話調整亮度。
 - 9.4 使用顯微鏡控制器設定物鏡倍
 - 9.5 調整影像、按 snap 擷取影像
1. 顯示白平衡
 2. 切換即時預覽、擷取影像
 3. 選擇曝光模式，設定曝光時間
 4. 設定 Field Update

圖 3-2.4 DP-20 數位擷取影像軟體畫面

(四) 維護保養：

1. 當顯微鏡停止使用時，覆蓋防塵罩防止灰塵污染。
2. 隨時保持設備清潔，可以使用棉布或軟皮擦拭，避免用醇類溶劑擦拭機體之油漆表面，避免腐蝕性化學品碰觸到機體和光學元件。

第三節 纖維光學性質

(一) 折射率 (Refractive Index) :

1. 定義 :

光在真空行進速度與光在物質內行進速度比值，例如光在真空行進速度 $3 \times 10^8 \text{m/sec}$ 、在某物質內行進速度為 $2 \times 10^8 \text{m/sec}$ ，則該物質折射率 $n=1.5$ ，折射率影響因子包括：密度、化合物成分、分(離)子間距、分子量、溫度等，例如鑽石折射率約 2.4、玻璃約 1.5、水約 1.33、汽油約 1.45。

2. 設備與試劑 :

2.1 色散染色用折射率指數(RI)液：高色散(HD)系列，1.550，1.605，1.620 及 1.680。

2.2 折射率指數液：1.670，1.630，及 1.700 等。

2.3 顯微鏡玻片：75mm × 25mm；蓋玻片：22mm × 22mm

3. 觀察方式 :

在已知裱敷液折射率指數下，預估樣品的折射率，折射率指數相差愈大則樣品邊緣愈顯得明顯黑，折射率指數相差愈大則樣品邊緣愈顯得明顯淡，並利用貝克線 (Becke line) 加以判定。

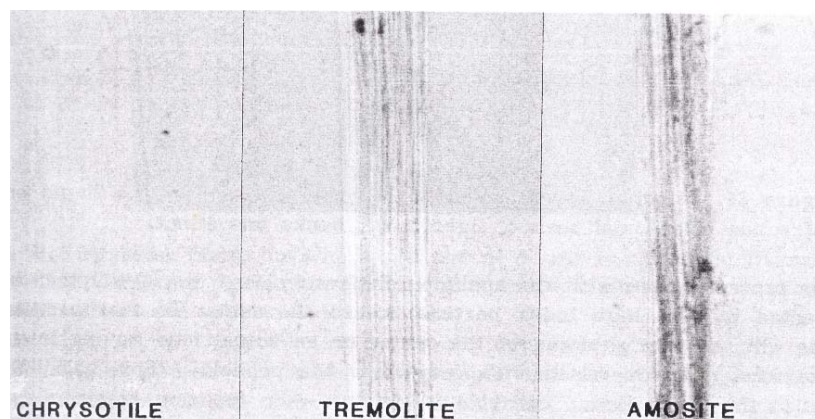


圖 3-3.1 裱敷液折射率 1.55[20]

(二) 貝克線 (Becke line)：

1. 定義：

在單偏極觀察下，若樣品折射率高於裱敷液折射率，顆粒中心呈現光亮光圈。

2. 設備與試劑：

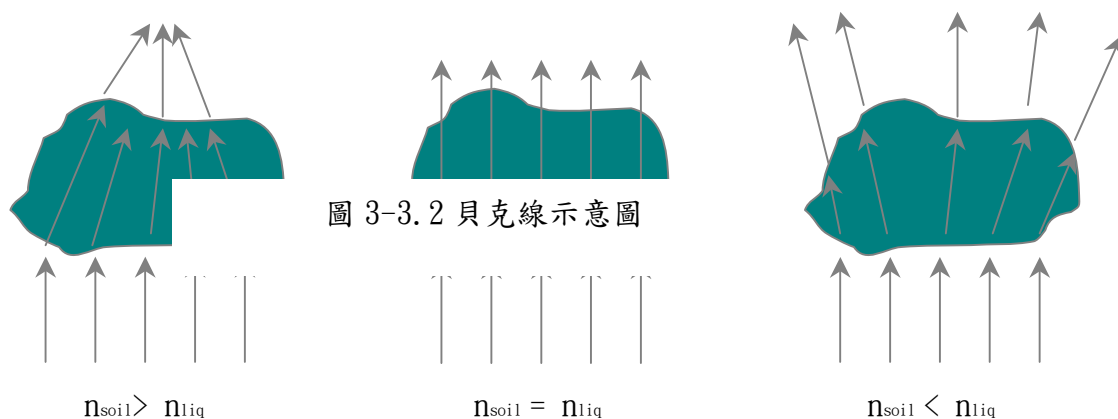
2.1 色散染色用折射率指數(RI)液：高色散(HD)系列，1.550，1.605，1.620 及 1.680。

2.2 折射率指數液：1.670，1.630，及 1.700 等。

2.3 顯微鏡玻片：75mm × 25mm；蓋玻片：22mm × 22mm

3. 觀察方式：

鏡筒向上移動提高聚焦，會發現樣品輪廓光圈往較高折射率之介質移動；鏡筒向下移動降低聚焦，會發現樣品輪廓光圈往較小折射率之介質移動，輪廓光圈稱之為貝克線。



(三) 多色性(Pleochroism)：

1. 定義：

在單偏極觀察下，等向性或均質性的纖維在偏光顯微鏡載物台上旋轉的時候，顏色並不會發生變化；但是一些屬於異向性或非均質性的纖維在旋轉的時候，會吸收不同波長的光，便會發生各種不同顏色的變化，這種色彩隨著方向不同的性質，叫做多色性 (Pleochroism)



圖 3-3.3 異向性物質多色性

(四) 消光性(Extinction)：

1. 定義：

顯微鏡以正交偏極操作方式觀察等向性晶體，光線無法透射上來，旋轉載物台，會發現樣品呈現黑暗；不過一些異向性的晶體，在某種特別的情形之下，也會發生事也黑暗的狀態。這種現象，叫做消光性 (Extinction)。

2. 觀察方式：

顯微鏡以正交偏極操作方式，異向物質受偏光影響，會減小其強度使影像變暗或消失，旋轉載物台在特定角度會達光線最小強度，即稱為消光性，如白石綿在平行方向產生對稱消光、透閃石在 4 度左右發

現消光現象。

發生消光的原因之一，是光線運動的方向，和晶體的光軸平行。這時候，光線從起偏鏡上來通過晶體，等於是通過了等向性的物質，所以會給正交偏極體完全阻截。第二種原因乃是晶體在載物台上旋轉的時候，遇到晶體光線振動的方向之一，正好和起偏鏡振動方向相同。在這種情形下，通過晶體的光線，都會給分析鏡所阻截。當晶體的位置，給旋轉到令鏡筒黑暗的時候，這一位置，便叫做消光位置 (Extinction Position)。

當晶體轉離消光的位置，則視野逐漸明朗，到了 45 度的地方，最為明亮。在一次三百六十度的旋轉當中，消光的位置，共有 4 個，即每 90 度一個。

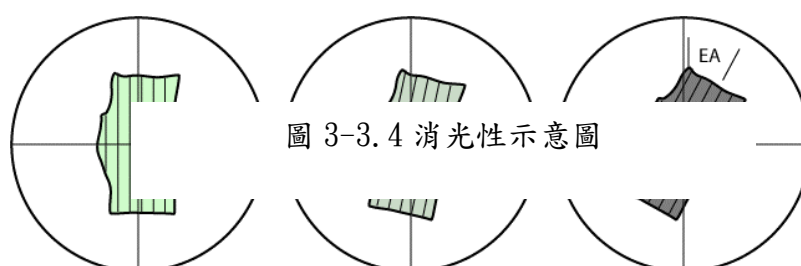
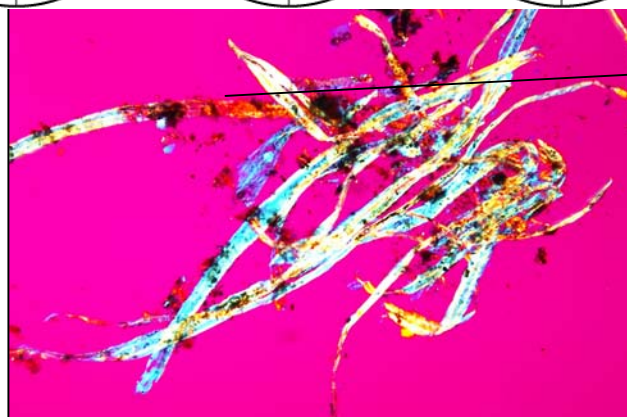


圖 3-3.4 消光性示意圖



水平消光性

圖 3-3.5 消光性照片

(五) 延長性 (SIGN OF ELONGATION) .

1. 定義：

延長性以正負表示，其中平行纖維方向折射指數大於垂直方向為正，反之為負。

2. 觀察方式：

光線在通過一等向物質的時候，由於可以用相等的速度，向所有的方向行進，不會分解為快慢的光線。若通過異向物質，則會分快慢，若通過垂直纖維方向較平行纖維方向快時，延長性為正。

透過正交偏極及配合插入五補板操作方式，藉由快慢光區顏色變化，判斷延長性正負，通常第一、三象限藍色，第二、四象限黃色則為〔+〕，如青石綿延長性為負、陽起石延長性為正。

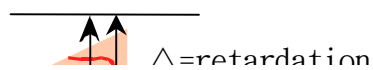
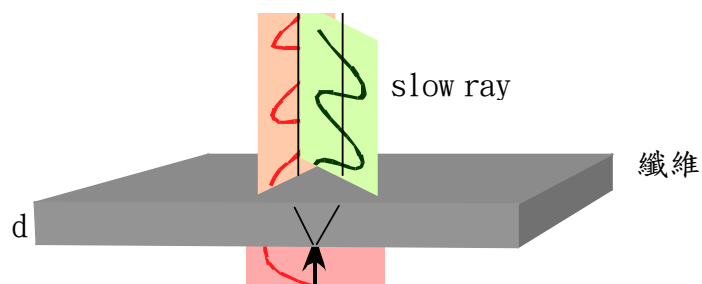


圖 3-3.6 延長性示意圖



(五) 雙折射率(Birefringence)：

1. 定義：

結晶體最大折射率和最小折射率的差，又名光徑差，雙折射較大的薄片，產生較高段干涉色，定性表示方式高、中、低；定量需配合 Michel-Levy 圖判別。

2. 觀察方式：

再正交偏極觀察，觀察纖維平行方向之顏色，對照 Michel-Levy 圖可定性鑑別雙折射率高、中、低，如表 3-3.1 所示。

表 3-3.1 雙折射率定性表示方式

雙折射率值	定性表示方式	備註
0~0.01	低	
0.01~0.05	中	
大於 0.05	高	

另雙折射率與異向物質之延遲性 (Retardation) 有下列關係：

$$r=1000B \times T$$

r：延遲性 (Retardation:nm)

T:纖維厚度(μm)

B：雙折射率

可利用已知互補板延遲性及量測纖維厚度，計算求出異向物質之雙折射率。

例如已知互補板延遲性「第一級紅色」550nm，量測某纖維厚度為 20 μm ，可得該異向物質之雙折射率為 0.027 (中)。

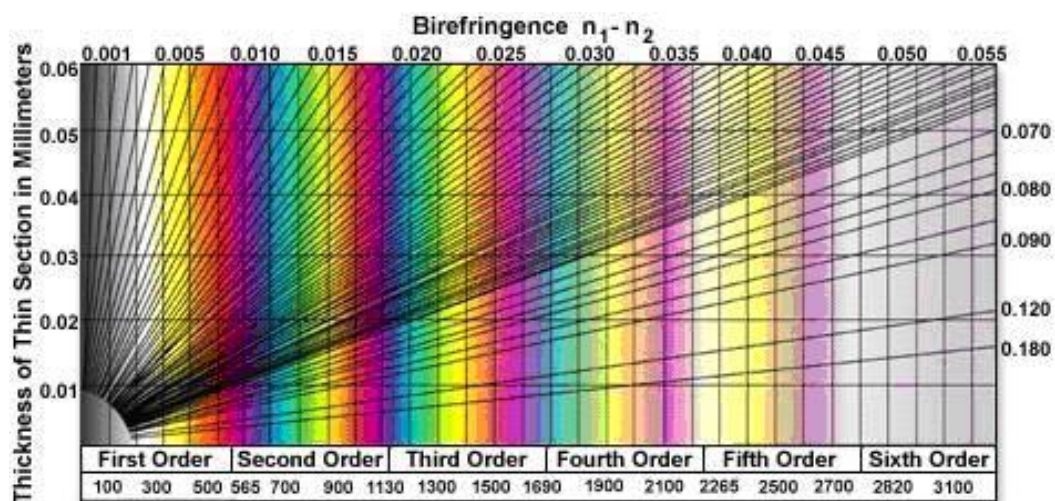


圖 3-3.7 Michel-Levy 圖

第四節 鑑定方法之建立

本節主要建立性能實驗中心石綿鑑定方法，包括委託案件登錄、樣品前處理、立體顯微鏡觀察、偏光顯微鏡觀察、定量估算。

(一) 委託案件登錄：

1. 收件：

樣品送至實驗室後，由實驗室權責人員辦理接收，接收時須檢查樣品是否足以提供檢測之用，須密封、標示或有保存規定者是否按規定辦理，當對樣品之適合性有懷疑、或樣品與所提供之描述不符，或指定之試驗/檢測作業不明確時，實驗室應在處理前與顧客會商確認。對於樣品是否足供檢測之用，實驗室應就其檢測項目，依引用、依循之方法或規範，訂定樣品之收件標準或條件，供接收樣品時參照。

2. 確認：

實驗室須與顧客確認技術服務委託單之項目與方法，若顧客未指定，則實驗室應依標準方法執行。經確認無誤之樣品即予編號。

3. 編號：

樣品編號採用 10 碼，第一碼（再生綠建材檢測實驗室為 R），第二碼是 S，然後是年（西元）、月、日、及流水號各二碼，例如 2007 年 11 月 14 日第一件委託測試件，其委託編號：RS07111401。



圖 3-4.1 樣品編號

(二) 樣品處理：

1. 液（膏）狀樣品：

- 1.1 在排煙櫃中打開容器，以扁闊抹刀取少量樣品置於玻片。
- 1.2 將玻片置至於樣品容器內，等樣品乾燥後（約室溫放置一天），利用低倍率立體顯微鏡觀察，檢查樣品內是否含有纖維，若無則判斷該樣品不含石綿；若含有纖維，觀察外觀初步判斷該纖維是否屬於 A、B、C、D、E、F 類纖維，並預估其含量，立體顯微鏡初步分類纖維表詳表 3-4.1 所示。

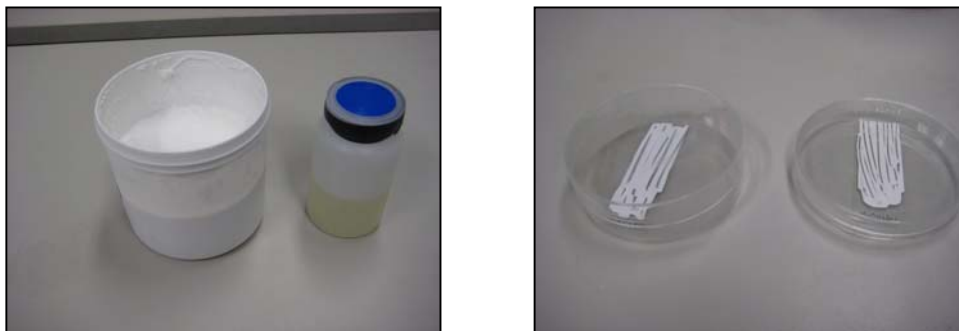


圖 3-4.2 液（膏）狀樣品

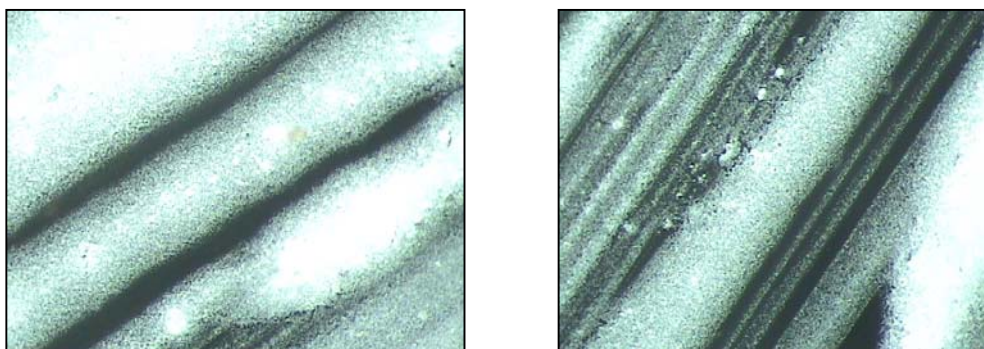


圖 3-4.3 立體顯微鏡觀察液（膏）狀樣品照片

表 3-4.1 立體顯微鏡初步分類纖維表

種類	外觀	初步判斷結果
A	細小及成束狀，反射光下呈現白色，具有曲折蜿蜒平直，部分細短無反彈力	可能是白石綿、kevlar 或鈣矽石…等
B	細小及成束狀，顏色白到黃，表面平滑彎曲而且長直，具反彈力	可能是褐石綿、氫氧鎂石、透閃石或陽起石…等
C	纖維類似 B 類，但在頂光反射下呈現藍-黑色	可能為青石綿或爐渣纖維…等
D	透明、無色到灰色或黃褐色 具有不同直徑	可能是岩綿、玻璃纖維、陶瓷纖維…等
E	連續長之絲狀，具有固定之直徑	可能是聚乙烯、聚烯烴…等
F	扁平尖細之絲狀物，具有不同直徑	可能為棉花、木質…等

2. 塊狀 (bulk) 樣品：

2.1 破碎 (crash)：

在排煙櫃中，利用分開針、鑷子、闊扁抹刀、探針、外科手術刀等工具，破碎並分開部分之樣品後；利用立體顯微鏡觀察樣品，檢查顯露出纖維之邊緣，初步判斷纖維種類，並預估其含量。假如可以明顯的分出不同層次，則對每一層次進行個別分析。



圖 3-4.4 破碎塊狀樣品照片

2.2 研磨 (mill):

假如樣品具有大而且硬之顆粒，則有必要在研磨砵內或研磨機內研磨，但不可研磨過細使得破壞纖維特性，使用研磨機研磨約 1 分鐘內即取出，並估算損耗重量，進行質量校正分析。



圖 3-4.5 研磨設備

2.3 灰化 (Ashing):

2.3.1 若含有膠結物質，無法研磨均質化，纖維無法順利取出或取樣之纖維黏結其他物質，造成不易觀察，一般研究建議可將樣品放入烘箱，溫度設定 300~500°C，置放約 6 小時；EPA600/R-93-116 建議，烘箱溫度設定 480°C，置放約 6 小時。

2.3.2 灰化前後應稱樣品重量，俾利定量估算。

2.3.3 灰化時間不可太久，否則會改變纖維結晶光學特性，導致誤判；Rodriquez[13]指出石綿纖維在 350°C 烘箱內置放 4 小時後，雙折射率值不變；650°C 烘箱內置放 4 小時後，雙折射率值會稍微增加；850°C 烘箱內置放 4 小時後，雙折射率值差異很大。

2.3.4 灰化時，應蓋上蓋子，避免污染烘箱，打開蓋子取樣應在在排煙櫃中進行。



圖 3-4.6 灰化設備

2.4 酸處理 (Acid Washing):

- 2.4.1. 若如有需要，可將樣品置於排煙櫃內，以適當之溶劑除去樣品中的黏合物、焦油及可能出現之干擾物質。並以被除去之非石綿物質質量校正分析結果。
- 2.4.2. EPA600/R-93-116 建議取 0.1-0.5 grams 樣品置倒入 20-30ml 3N 鹽酸試劑內，約 5 分鐘後過濾取出，若樣品含碳酸鹽，建議放至約 15-20 分鐘。
- 2.4.3. JISA1481-2006 採用甲酸(Formic acid 20%20ml+40ml)進行酸處理，其方法係取 100mg 樣品，倒入甲酸試劑內，超音波震盪約 6 分鐘過濾取出。
- 2.4.4 酸處理時間不可太久，否則會改變纖維結晶光學特性，導致誤判；Kessler[14]指出白石綿纖維放入鹽酸試劑內 30 分鐘後， $n_{||}$ 由 1.555 降為 1.5435；放入 21 天後 95%白石綿光學特性變成等向性，折射率變為 1.430。

(三) 偏光顯微鏡觀察[15、16、17]：

1. 裱數 1.550 高色散折射率指數液運用：

1.1 利用裱數 1.550 高色散折射率指數液於玻片試體，偏光顯微鏡調整為單偏極操作方式，掃瞄觀察玻片上出現之纖維形態，假如沒有發現纖維，再另外準備之玻片重覆測試，若仍然未發現纖維，報告上註明未檢出石綿纖維。若蓋玻片不平整，可以利用鉛筆橡皮擦輕輕壓平。

1.2 假如發現纖維存在，觀察並紀錄看到物質之形狀、大小、多色性、貝克線 (Becke line)，假如全部均為等向性物質，報告上註明未檢出石綿纖維。

1.3 假如出現異向性物質，旋轉載物台觀察消光性角度，除了透閃石、陽起石具有 $0-21^\circ$ 不可見之消失性，其他石綿則顯示出平行消光性，另應留意部分外觀與石綿相近纖維，如氫氧鎂石 (Brucite)、滑石 (talc)、天然纖維、人造纖維、鈣矽石 (wollastonite) 亦會出現消光性特質。

1.4 檢查纖維：

在單偏極觀察下，貝克顏色通常並不明顯，檢查纖維形態是否曲折，是否呈波浪狀束型，若是則疑似為白石綿。假如形態曲折如絲帶狀而且外觀上有孔洞則可能為纖維素纖維，假如折射率指數很接近 1.550，則有必要部分正交偏極以便觀察纖維。

1.5 白石綿鑑定：

插入色散染色目鏡，觀察到藍—洋紅色之色散染色則確定為白石綿，纖維素纖維通常在 1.550 折射率指數會干擾，但不會顯示出這種色散染色，假如鑑定為白石綿，則進行定量分析，否則繼續下一操作步驟。

2. 裱數 1.680 高色散折射率指數液運用：

2.1 青石綿鑑定：

以 1.680 折射率指數液裱敷樣品，以平面偏極（未正交偏極）檢查青石綿之形態，青石綿平直堅硬，可能顯示藍或紫—藍，具有多色性質，當它隨著平面偏極光旋轉時會顯示顏色（藍或灰）改變，插入色散染色目鏡，中央隔板色散染色為紅洋紅色及藍洋紅色，有時這些顏色可能被藍黑色纖維遮蓋而無法觀察，假如以上之觀察確定青石綿，則進行定量分析，否則繼續下一操作步驟。

2.2 褐石綿之鑑定：

以 1.680 折射率指數液裱敷樣品，觀察褐石綿形態特性，具有平直成束纖維，尾端呈現帚狀散裂或分散，假如形態上接近褐石綿，使用色散染色目鏡檢查纖維，藍色及淡藍色顯示為鎂閃石形態的褐石綿，金黃色及藍色顯示為鐵閃石形態的褐石綿，假如在此步驟確定為褐石綿，則進行定量分析，若發現纖維折射率指數均小於 1.680，則繼續下一操作步驟。

3. 裱敷 1.605 高色散折射率指數液運用：

3.1 斜方角閃石、透閃石、陽起石之鑑定：

以折射率指數 1.605 高色散折射率指數液裱敷樣品，比較斜方角閃石、透閃石、陽起石之形態這些型態的石綿折射率指數隨著種類而不同，斜方角閃石具有幾乎平行消光性與陽起石、透閃石有很大區別，在平面—偏極光下，陽起石具有淡到深綠色而顯示有些多色性，這三種石綿纖維外觀上平直，單一纖維可能具有較大組成纖維，可能出現分裂碎片，使用中央光阻色散目鏡觀察，斜方角閃石為金黃／金黃—洋紅色；透閃石為淡藍及黃色，陽起石為洋紅色及金黃—黃色。在此種折射率指數範圍，鈣矽石、氫氧鎂石在形態上，以及分裂碎片通常會干擾，鈣矽石具有延長性正及負之符號，平行消光性，而且中央光阻色散染色為淡黃及淡黃到洋紅色；氫氧

鎂石具有延長性為負，平行消光性，而且中央光阻色散染色為淡黃及黃。若需要進一步確定鈣矽石則進行下一操作步驟。假如已經確定為上述之石綿纖維，則進行定量分析，假如上述鑑定未能發現石綿纖維，再測另外一個樣品，若結果一樣，報告上註明未檢出石綿。

4. 裱敷 1.620 折射率指數液運用：

要進一步確定鈣矽石或斜方角閃石透閃石，使用一滴濃鹽酸清洗玻片上之少量樣品，覆上蓋玻片後，以溫熱之熱板加熱直到乾燥，利用毛細管作用，逐滴加 1.620 折射率指數液於蓋玻片上，然後觀察玻片，鈣矽石不會產生「交叉線條」，呈現穿透纖維長度而且無中央光阻色散染色，斜方角閃石及透閃石則會有原始之色散染色。

(三) 定量估算：

1. 點計數法 (point counting)

1.1 取 8 片玻片樣品

1.2 計算每個玻片視野內 10×10 網格標線與各種樣品之交點合計 n_1 點， n_1 至少要 400 點以上。

1.3 計算每個玻片視野內 10×10 網格標線與石綿纖維之交點合計 n_2 點。

1.4 石綿含量 n_1 / n_2 ，並考慮前處理質量校正結果。

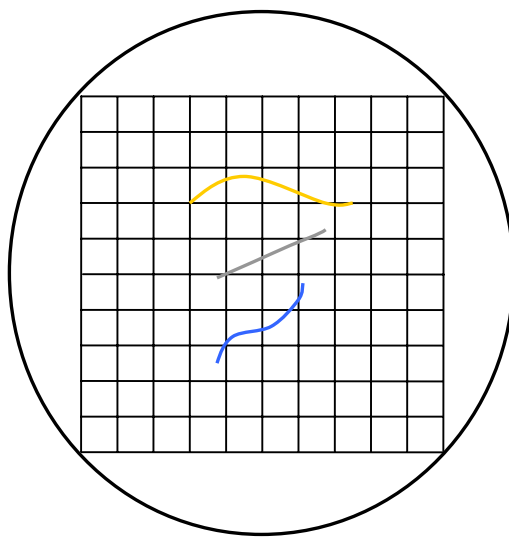


圖 3-4.7 點計數法

2. 投影面積比對法：參考 NIOSH9002[18] 建議百分比投影面積估算石綿百分比。

ASBESTOS (bulk): METHOD 9002, Issue 2, dated 15 August 1994 - Page 7 of 9

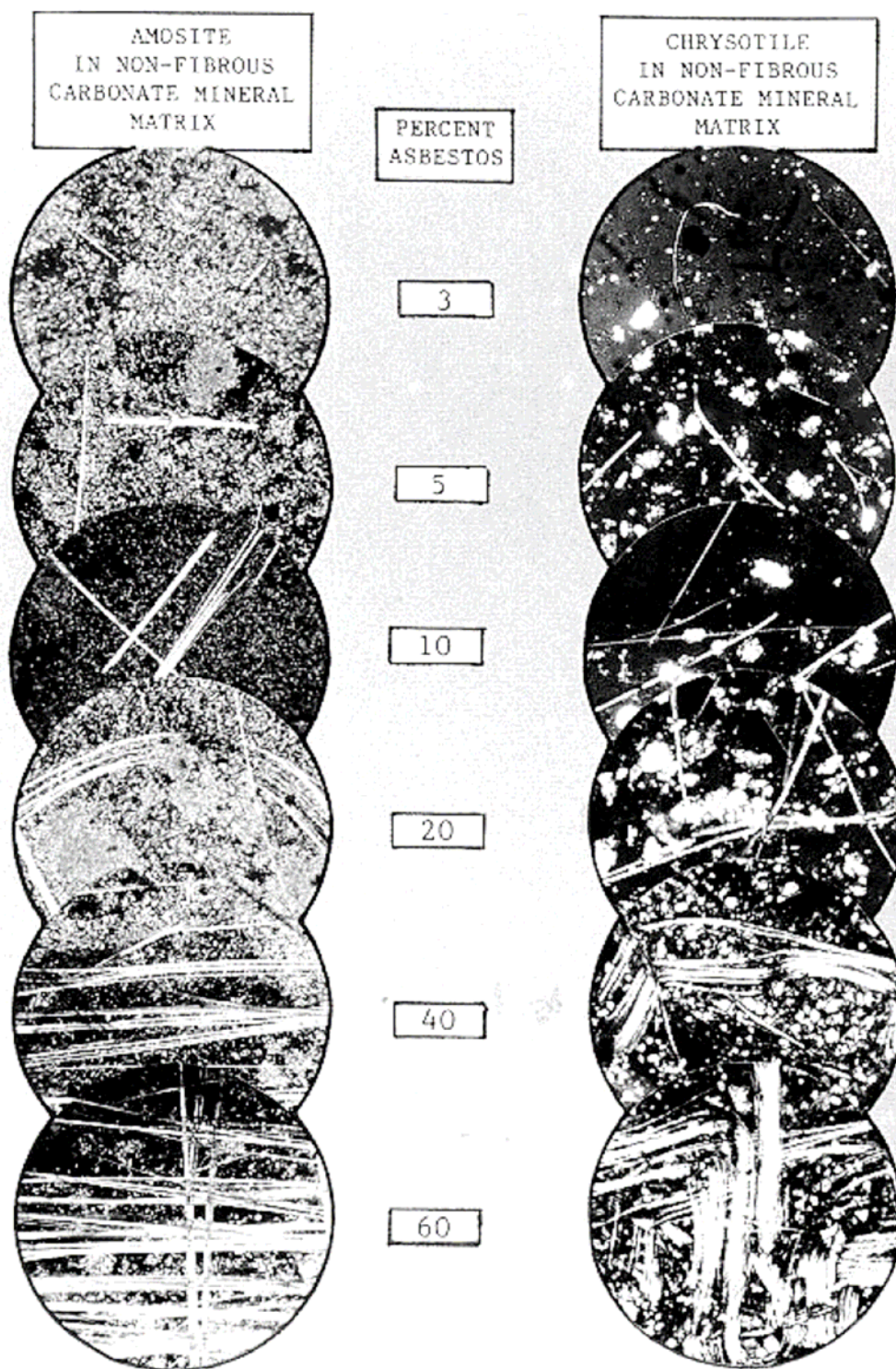


圖 3-4.8 面積比對法

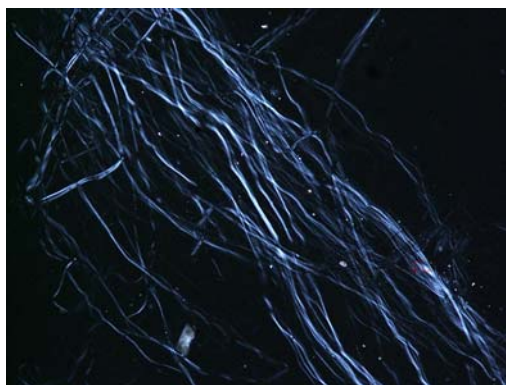
第四章 試驗結果與建議

第一節 常見纖維資料庫之建立

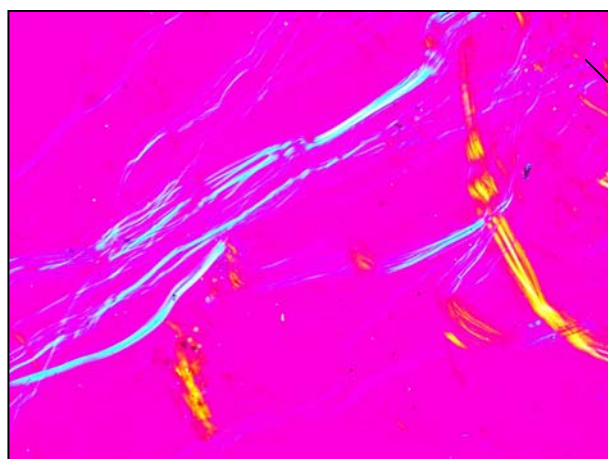
本章之內容乃參考[19-21]及本中心標準試驗程序，建立相關纖維型態、顏色、消光性、多色性、色散染色、延長性、折射率、雙折射率、貝克線、中央光阻、結晶體光學資料庫，俾利後續實驗室運作。

(一) 白石綿 (Chrysotile):

1. 纖維結晶：單斜結晶系 (monoclinic crystal system)
2. 纖維型態：波浪狀纖維，尾端分叉及糾結，加熱後無色到淡褐色，外觀比率通常 $> 10:1$ 。
3. 顏色：無色。
4. 多色性：無。
5. 折射率：1.545-1.556 (平行纖維方向)
1.532-1.549 (垂直纖維方向)
6. 雙折射率：低 (0.007-0.013)
7. 消光角： 0°
8. 延長性符號：正
9. 中央光阻色散染色 ($n_{oi}=1.55$):
藍色—洋紅 (平行纖維方向)、藍色 (垂直纖維方向)

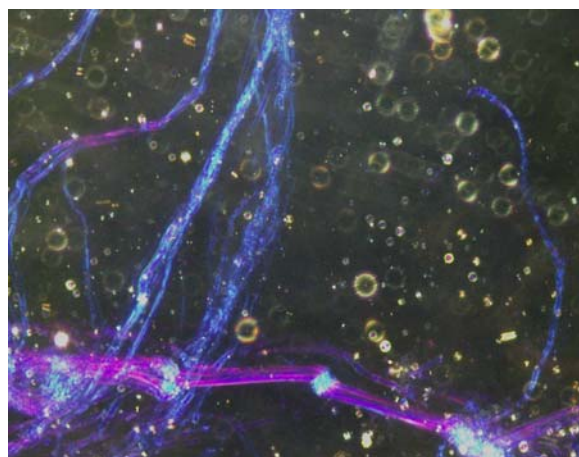


正交偏極觀察



消
光
性

正交偏極+互補板觀察



中央光阻色散染色觀察

圖 4-1.1 白石綿

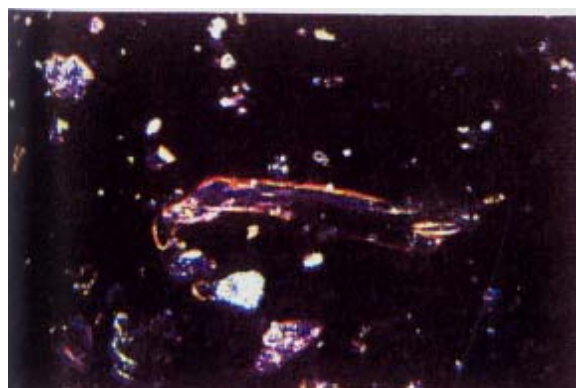


圖 4-1.2 葉蛇紋石礦物[21]

表 4-1.1 Chrysotile matching wavelength (垂直纖維方向: $n_{o11}=1.55$)

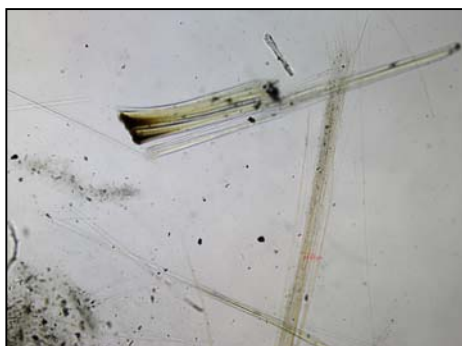
λ_0	19°C	21°C	23°C	25°C	27°C	29°C	31°C
400	1.583	1.582	1.581	1.580	1.579	1.578	1.577
420	1.577	1.576	1.575	1.574	1.573	1.572	1.571
440	1.573	1.572	1.571	1.570	1.569	1.568	1.567
460	1.569	1.568	1.567	1.566	1.565	1.564	1.563
480	1.565	1.564	1.563	1.562	1.561	1.560	1.559
500	1.562	1.561	1.560	1.559	1.558	1.557	1.556
520	1.560	1.559	1.558	1.557	1.556	1.555	1.554
540	1.558	1.557	1.556	1.555	1.554	1.553	1.552
560	1.556	1.555	1.554	1.553	1.552	1.551	1.550
580	1.554	1.553	1.552	1.551	1.550	1.549	1.548
589	1.553	1.552	1.551	1.550	1.549	1.548	1.547
600	1.552	1.551	1.550	1.549	1.548	1.547	1.546
620	1.551	1.550	1.549	1.548	1.547	1.546	1.545
640	1.549	1.548	1.547	1.546	1.545	1.544	1.543
660	1.548	1.547	1.546	1.545	1.544	1.543	1.542
680	1.547	1.546	1.545	1.544	1.543	1.542	1.541
700	1.546	1.545	1.544	1.543	1.542	1.541	1.540
750	1.544	1.543	1.542	1.541	1.540	1.539	1.538
800	1.542	1.541	1.540	1.539	1.538	1.537	1.536

表 4-1.2 Chrysotile matching wavelength (平行纖維方向: $n_{o11}=1.55$)

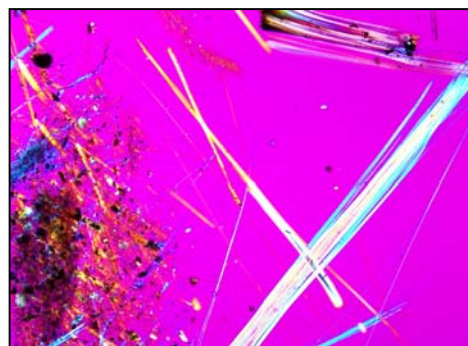
λ_0	19°C	21°C	23°C	25°C	27°C	29°C	31°C
400	1.581	1.580	1.579	1.578	1.577	1.576	1.575
420	1.575	1.574	1.573	1.572	1.571	1.570	1.569
440	1.571	1.570	1.569	1.568	1.567	1.566	1.565
460	1.567	1.566	1.565	1.565	1.564	1.563	1.562
480	1.564	1.563	1.562	1.561	1.560	1.559	1.558
500	1.562	1.561	1.560	1.559	1.558	1.557	1.556
520	1.559	1.558	1.557	1.556	1.555	1.554	1.553
540	1.557	1.556	1.555	1.554	1.553	1.552	1.551
560	1.555	1.554	1.553	1.552	1.551	1.550	1.549
580	1.554	1.553	1.552	1.551	1.550	1.549	1.548
589	1.553	1.552	1.551	1.550	1.549	1.548	1.547
600	1.552	1.551	1.550	1.549	1.548	1.547	1.546
620	1.551	1.550	1.549	1.548	1.547	1.546	1.545
640	1.550	1.549	1.548	1.547	1.546	1.545	1.544
660	1.548	1.547	1.546	1.546	1.545	1.544	1.543
680	1.547	1.546	1.545	1.544	1.544	1.543	1.542
700	1.546	1.546	1.545	1.544	1.543	1.542	1.541
750	1.544	1.543	1.542	1.541	1.540	1.540	1.539
800	1.543	1.542	1.541	1.540	1.539	1.538	1.537

(二) 褐石綿 (Amosite):

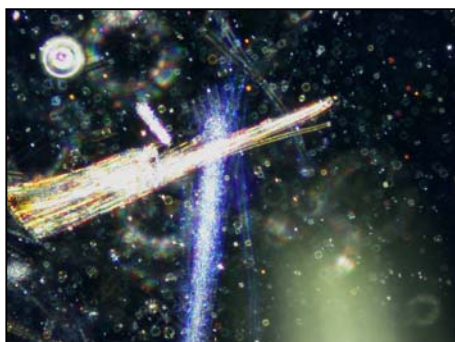
1. 纖維結晶：單斜結晶系 (monoclinic crystal system)
2. 纖維型態：平直成束纖維，尾端呈現帚狀散裂或分散，加熱後無色褐色，可能具有微弱的多色性，通常外觀表 $> 10:1$
- 3 顏色：無色
4. 多色性：無。
5. 折射率：1.69-1.70 (平行纖維方向)
1.66-1.68 (垂直纖維方向)
6. 雙折射率：中 (0.034)
7. 消光角： 0° - 4°
8. 延長性符號：正
9. 中央光阻色散染色 ($n_{oi}=1.68$):
金黃色 (平行纖維方向)、藍色 (垂直纖維方向)



單偏極觀察



正交偏極+互補板觀察



中央光阻色散染色觀察

圖 4-1.3 褐石綿

表 4-1.3 Amosite matching wavelength (垂直纖維方向: $n_{o11}=1.68$)

λ_0	19°C	21°C	23°C	25°C	27°C	29°C	31°C
400	1.711	1.710	1.709	1.708	1.707	1.706	1.705
420	1.706	1.705	1.704	1.703	1.702	1.701	1.700
440	1.701	1.700	1.699	1.699	1.698	1.697	1.696
460	1.698	1.697	1.696	1.695	1.694	1.693	1.692
480	1.694	1.694	1.693	1.692	1.691	1.690	1.689
500	1.692	1.691	1.690	1.689	1.688	1.687	1.686
520	1.689	1.688	1.687	1.686	1.685	1.685	1.684
540	1.687	1.686	1.685	1.684	1.683	1.682	1.681
560	1.685	1.684	1.683	1.682	1.681	1.681	1.680
580	1.684	1.683	1.682	1.681	1.680	1.679	1.678
589	1.683	1.682	1.681	1.680	1.679	1.678	1.677
600	1.682	1.681	1.680	1.679	1.678	1.677	1.676
620	1.681	1.680	1.679	1.678	1.677	1.676	1.675
640	1.679	1.678	1.678	1.677	1.676	1.675	1.674
660	1.678	1.677	1.676	1.675	1.674	1.674	1.673
680	1.677	1.676	1.675	1.674	1.673	1.672	1.671
700	1.676	1.675	1.674	1.673	1.672	1.671	1.671
750	1.674	1.673	1.672	1.671	1.670	1.669	1.668
800	1.672	1.671	1.671	1.670	1.669	1.668	1.667

表 4-1.4 Amosite matching wavelength (平行纖維方向: $n_{o11}=1.68$)

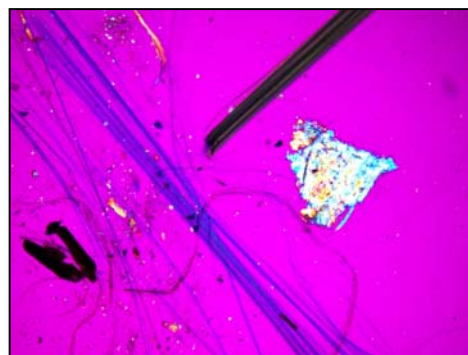
λ_0	19°C	21°C	23°C	25°C	27°C	29°C	31°C
400	1.710	1.709	1.708	1.707	1.706	1.705	1.704
420	1.705	1.704	1.703	1.702	1.701	1.700	1.699
440	1.700	1.699	1.698	1.698	1.697	1.696	1.695
460	1.697	1.696	1.695	1.694	1.693	1.692	1.691
480	1.694	1.693	1.692	1.691	1.690	1.689	1.688
500	1.691	1.690	1.689	1.688	1.687	1.686	1.686
520	1.689	1.688	1.687	1.686	1.685	1.684	1.683
540	1.687	1.686	1.685	1.684	1.683	1.682	1.681
560	1.685	1.684	1.683	1.682	1.681	1.680	1.679
580	1.684	1.683	1.682	1.681	1.680	1.679	1.678
589	1.683	1.682	1.681	1.680	1.679	1.678	1.677
600	1.682	1.681	1.680	1.679	1.678	1.677	1.676
620	1.681	1.680	1.679	1.678	1.677	1.676	1.675
640	1.680	1.679	1.678	1.677	1.676	1.675	1.674
660	1.679	1.678	1.677	1.676	1.675	1.674	1.673
680	1.678	1.677	1.676	1.675	1.674	1.673	1.672
700	1.677	1.676	1.675	1.674	1.673	1.672	1.671
750	1.675	1.674	1.673	1.672	1.671	1.670	1.669
800	1.673	1.672	1.671	1.670	1.669	1.668	1.667

(三) 青石綿 (Crocidolite):

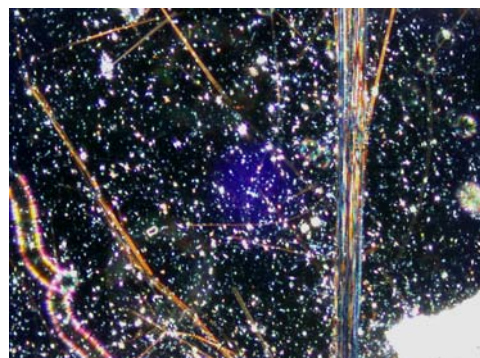
1. 纖維結晶：三斜結晶系 (triclinic crystal system)
2. 纖維型態：平直成束纖維，纖維長束狀尾干擾顏色可利用藍色隱蔽端
散裂其有藍色之特性，多色性外觀比率通常 > 10:1。
- 3 顏色：藍色
4. 多色性：灰藍-藍。
5. 折射率：1.69 (平行纖維方向)
1.705 (垂直纖維方向)
6. 雙折射率：低、中 (0.015)
7. 消光角： 0° - 5°
8. 延長性符號：負
9. 中央光阻色散染色 ($n_{oi}=1.68$):
黃色 (平行纖維方向)、淡黃色 (垂直纖維方向)



單偏極觀察



正交偏極+互補板觀察



中央光阻色散染色觀察

圖 4-1.4 青石綿

表 4-1.5 Crocidolite matching wavelength (垂直纖維方向: $n_{o11}=1.68$)

λ_0	19°C	21°C	23°C	25°C	27°C	29°C	31°C
400	1.715	1.714	1.713	1.712	1.711	1.711	1.710
420	1.709	1.708	1.707	1.706	1.705	1.704	1.704
440	1.704	1.703	1.702	1.701	1.700	1.699	1.698
460	1.700	1.699	1.698	1.697	1.696	1.695	1.694
480	1.696	1.695	1.694	1.693	1.692	1.691	1.691
500	1.693	1.692	1.691	1.690	1.689	1.688	1.687
520	1.690	1.689	1.688	1.687	1.686	1.686	1.685
540	1.688	1.687	1.686	1.685	1.684	1.683	1.682
560	1.686	1.685	1.684	1.683	1.682	1.681	1.680
580	1.684	1.683	1.682	1.681	1.680	1.679	1.678
589	1.683	1.682	1.681	1.680	1.679	1.678	1.677
600	1.682	1.681	1.680	1.679	1.678	1.677	1.676
620	1.680	1.679	1.678	1.677	1.677	1.676	1.675
640	1.679	1.678	1.677	1.676	1.675	1.674	1.673
660	1.678	1.677	1.676	1.675	1.674	1.673	1.672
680	1.676	1.675	1.674	1.674	1.673	1.672	1.671
700	1.675	1.674	1.673	1.672	1.671	1.670	1.670
750	1.673	1.672	1.671	1.670	1.669	1.668	1.667
800	1.671	1.670	1.669	1.668	1.667	1.666	1.665

表 4-1.6 Crocidolite matching wavelength (平行纖維方向: $n_{o11}=1.68$)

λ_0	19°C	21°C	23°C	25°C	27°C	29°C	31°C
400	1.718	1.717	1.716	1.715	1.714	1.713	1.712
420	1.711	1.710	1.709	1.708	1.707	1.706	1.705
440	1.706	1.705	1.704	1.703	1.702	1.701	1.700
460	1.701	1.700	1.699	1.698	1.697	1.696	1.695
480	1.697	1.696	1.695	1.694	1.693	1.692	1.691
500	1.694	1.693	1.692	1.691	1.690	1.689	1.688
520	1.691	1.690	1.689	1.688	1.687	1.686	1.685
540	1.688	1.687	1.686	1.685	1.684	1.683	1.682
560	1.686	1.685	1.684	1.683	1.682	1.681	1.680
580	1.684	1.683	1.682	1.681	1.680	1.679	1.678
589	1.683	1.682	1.681	1.680	1.679	1.678	1.677
600	1.682	1.681	1.680	1.679	1.678	1.677	1.676
620	1.680	1.679	1.678	1.677	1.677	1.676	1.675
640	1.679	1.678	1.677	1.676	1.675	1.674	1.673
660	1.677	1.676	1.675	1.674	1.673	1.672	1.671
680	1.676	1.675	1.674	1.673	1.672	1.671	1.670
700	1.675	1.674	1.673	1.672	1.671	1.670	1.669
750	1.672	1.671	1.670	1.669	1.668	1.667	1.666
800	1.670	1.669	1.668	1.667	1.666	1.665	1.664

(四) 透閃石(tremolite):

1. 纖維結晶：單斜結晶系 (monoclinic crystal system)
2. 纖維型態：平直而且彎曲纖維，通常呈現裂片狀，大纖維束顯示尾端散裂，無色輕微到中度多性，外觀比率通常 $10:1$。
- 3 顏色：無色、淡綠色
4. 多色性：無。
5. 折射率：1.62-1.64 (平行纖維方向)
1.60-1.63 (垂直纖維方向)
6. 雙折射率：中 (0.025)
7. 消光角： 0° - 5°
8. 延長性符號：正
9. 中央光阻色散染色 ($n_{oi1}=1.605$):
黃色 (平行纖維方向)、藍色—洋紅 (垂直纖維方向)



單偏極觀察



正交偏極+互補板觀察



中央光阻色散染色觀察

圖 4-1.5 透閃石

表 4-1.7 Tremolite matching wavelength (垂直纖維方向: $n_{o11}=1.605$)

λ_0	19°C	21°C	23°C	25°C	27°C	29°C	31°C
400	1.636	1.635	1.634	1.633	1.632	1.631	1.631
420	1.631	1.630	1.629	1.628	1.627	1.626	1.625
440	1.626	1.625	1.624	1.624	1.623	1.622	1.621
460	1.622	1.622	1.621	1.620	1.619	1.618	1.617
480	1.619	1.618	1.617	1.617	1.616	1.615	1.614
500	1.616	1.616	1.615	1.614	1.613	1.612	1.611
520	1.614	1.613	1.612	1.611	1.611	1.610	1.609
540	1.612	1.611	1.610	1.609	1.608	1.608	1.607
560	1.610	1.609	1.608	1.607	1.607	1.606	1.605
580	1.608	1.607	1.607	1.606	1.605	1.604	1.603
589	1.608	1.607	1.606	1.605	1.604	1.603	1.602
600	1.607	1.606	1.605	1.604	1.603	1.603	1.602
620	1.605	1.605	1.604	1.603	1.602	1.601	1.600
640	1.604	1.603	1.602	1.602	1.601	1.600	1.599
660	1.603	1.602	1.601	1.600	1.600	1.599	1.598
680	1.602	1.601	1.600	1.599	1.598	1.598	1.597
700	1.601	1.600	1.599	1.598	1.598	1.597	1.596
750	1.599	1.598	1.597	1.596	1.595	1.595	1.594
800	1.597	1.596	1.595	1.595	1.594	1.593	1.592

表 4-1.8 Tremolite matching wavelength (平行纖維方向: $n_{o11}=1.605$)

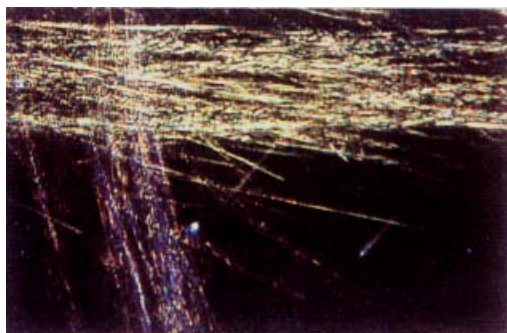
λ_0	19°C	21°C	23°C	25°C	27°C	29°C	31°C
400	1.632	1.631	1.630	1.929	1.628	1.627	1.627
420	1.627	1.626	1.626	1.625	1.624	1.623	1.622
440	1.624	1.623	1.622	1.621	1.620	1.619	1.618
460	1.620	1.619	1.619	1.618	1.617	1.616	1.615
480	1.618	1.617	1.616	1.615	1.614	1.613	1.612
500	1.615	1.614	1.614	1.613	1.612	1.611	1.610
520	1.613	1.612	1.611	1.611	1.610	1.609	1.608
540	1.611	1.610	1.610	1.609	1.608	1.607	1.606
560	1.610	1.609	1.608	1.607	1.606	1.605	1.604
580	1.608	1.607	1.607	1.606	1.605	1.604	1.603
589	1.608	1.607	1.606	1.605	1.604	1.603	1.602
600	1.607	1.606	1.605	1.604	1.603	1.603	1.602
620	1.606	1.605	1.604	1.603	1.602	1.601	1.600
640	1.605	1.604	1.603	1.602	1.601	1.600	1.599
660	1.604	1.603	1.602	1.601	1.600	1.599	1.598
680	1.603	1.602	1.601	1.600	1.599	1.598	1.598
700	1.602	1.601	1.600	1.599	1.598	1.598	1.597
750	1.600	1.599	1.598	1.598	1.597	1.596	1.595
800	1.599	1.598	1.597	1.596	1.595	1.594	1.593

(五) 陽起石(Actinolite)：

1. 纖維結晶：三斜結晶系 (triclinic crystal system)
2. 纖維型態：平直而且彎曲纖維，通常呈現裂片狀，大纖維束顯示尾端散裂，無色輕微到中度多性，外觀比率通常 <10：1
- 3 顏色：無色
4. 多色性：無。
5. 折射率：1.64 (平行纖維方向)
1.62 (垂直纖維方向)
6. 雙折射率：中 (0.03)
7. 消光角： 0° - 21°
8. 延長性符號：正
9. 中央光阻色散染色 ($n_{oi}=1.605$)：
淡黃色 (平行纖維方向)、黃色 (垂直纖維方向)



正交偏極觀察[21]



中央光阻色散染色觀察[21]

圖 4-1.6 陽起石

表 4-1.9 Actinolite matching wavelength (垂直纖維方向: $n_{o11}=1.605$)

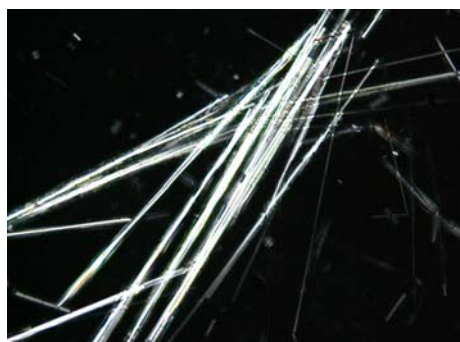
λ_0	19°C	21°C	23°C	25°C	27°C	29°C	31°C
400	1.633	1.632	1.631	1.631	1.630	1.629	1.628
420	1.628	1.628	1.627	1.626	1.625	1.624	1.623
440	1.624	1.624	1.623	1.623	1.622	1.621	1.619
460	1.621	1.620	1.619	1.618	1.618	1.617	1.616
480	1.618	1.617	1.616	1.616	1.615	1.614	1.613
500	1.616	1.615	1.614	1.613	1.612	1.611	1.610
520	1.613	1.613	1.612	1.611	1.610	1.609	1.608
540	1.612	1.611	1.610	1.609	1.608	1.607	1.606
560	1.610	1.609	1.608	1.607	1.606	1.605	1.605
580	1.608	1.607	1.607	1.606	1.605	1.604	1.603
589	1.608	1.607	1.606	1.605	1.604	1.603	1.602
600	1.607	1.606	1.605	1.604	1.603	1.603	1.602
620	1.606	1.605	1.604	1.603	1.602	1.601	1.600
640	1.605	1.604	1.603	1.602	1.601	1.600	1.599
660	1.603	1.603	1.602	1.601	1.600	1.599	1.598
680	1.603	1.602	1.601	1.600	1.599	1.598	1.597
700	1.602	1.601	1.600	1.599	1.598	1.597	1.596
750	1.600	1.599	1.598	1.597	1.596	1.595	1.594
800	1.598	1.597	1.596	1.596	1.595	1.594	1.593

表 4-1.10 Actinolite matching wavelength (平行纖維方向: $n_{o11}=1.605$)

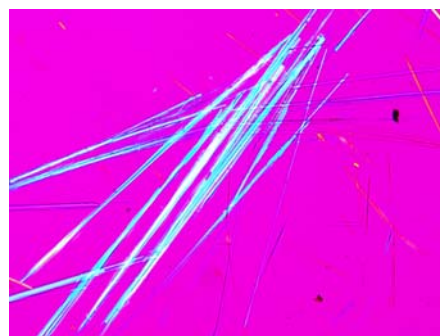
λ_0	19°C	21°C	23°C	25°C	27°C	29°C	31°C
400	1.629	1.628	1.627	1.626	1.625	1.624	1.623
420	1.625	1.624	1.623	1.622	1.621	1.620	1.619
440	1.621	1.621	1.620	1.619	1.618	1.617	1.616
460	1.619	1.618	1.617	1.616	1.615	1.614	1.613
480	1.616	1.615	1.615	1.614	1.613	1.612	1.611
500	1.614	1.613	1.613	1.612	1.611	1.610	1.609
520	1.612	1.612	1.611	1.610	1.609	1.608	1.607
540	1.611	1.610	1.609	1.608	1.607	1.606	1.606
560	1.609	1.609	1.608	1.607	1.606	1.605	1.604
580	1.608	1.607	1.606	1.606	1.605	1.604	1.603
589	1.608	1.607	1.606	1.605	1.604	1.603	1.602
600	1.607	1.606	1.605	1.604	1.604	1.603	1.602
620	1.606	1.605	1.604	1.603	1.602	1.602	1.601
640	1.605	1.604	1.603	1.602	1.602	1.601	1.600
660	1.604	1.603	1.602	1.602	1.601	1.600	1.599
680	1.603	1.603	1.602	1.601	1.600	1.599	1.598
700	1.603	1.602	1.601	1.600	1.599	1.598	1.597
750	1.601	1.600	1.599	1.598	1.598	1.597	1.596
800	1.600	1.599	1.598	1.597	1.596	1.595	1.595

(六) 斜方角閃石(Anthophyllite):

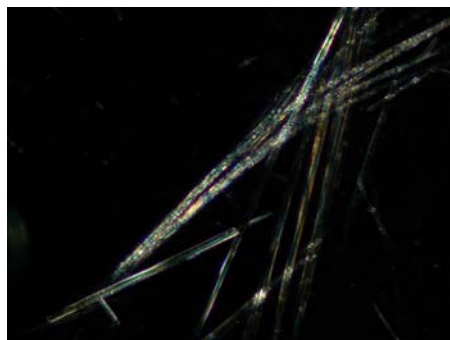
1. 纖維結晶：斜方結晶系 (orthorhombic crystal system)
2. 纖維型態：平直成束纖維，裂片通常呈現無色到淡褐色，微弱多色性到無多色性，外觀比率通常 $10:1$
- 3 顏色：無色
4. 多色性：無。
5. 折射率：1.62 (平行纖維方向)
1.600-1.610 (垂直纖維方向)
6. 雙折射率：低、中 (0.03)
7. 消光角： 0° - 21°
8. 延長性符號：負
9. 中央光阻色散染色 ($n_{oi}=1.605$):
黃色 (平行纖維方向)、藍色—洋紅 (垂直纖維方向)



正交偏極觀察



正交偏極+互補板觀察



中央光阻色散染色觀察

圖 4-1.7 斜方角閃石

表 4-1.11 Anthophyllite matching wavelength (垂直纖維方向：
 $n_{oi1}=1.605$)

λ_0	19°C	21°C	23°C	25°C	27°C	29°C	31°C
400	1.632	1.631	1.630	1.630	1.629	1.628	1.627
420	1.628	1.627	1.626	1.625	1.624	1.623	1.622
440	1.624	1.623	1.622	1.621	1.620	1.619	1.619
460	1.621	1.620	1.619	1.618	1.617	1.616	1.615
480	1.618	1.617	1.616	1.615	1.614	1.613	1.613
500	1.615	1.615	1.614	1.613	1.612	1.611	1.610
520	1.613	1.612	1.612	1.611	1.610	1.609	1.608
540	1.611	1.611	1.610	1.609	1.608	1.607	1.606
560	1.610	1.609	1.608	1.607	1.606	1.605	1.604
580	1.608	1.607	1.607	1.606	1.605	1.604	1.603
589	1.608	1.607	1.606	1.605	1.604	1.603	1.602
600	1.607	1.606	1.605	1.604	1.603	1.603	1.602
620	1.606	1.605	1.604	1.603	1.602	1.601	1.600
640	1.605	1.604	1.603	1.602	1.601	1.600	1.599
660	1.604	1.603	1.602	1.601	1.600	1.599	1.598
680	1.603	1.602	1.601	1.600	1.599	1.598	1.597
700	1.602	1.601	1.600	1.599	1.598	1.597	1.597
750	1.600	1.599	1.598	1.597	1.597	1.596	1.595
800	1.599	1.598	1.597	1.596	1.595	1.594	1.593

表 4-1.12 Anthophyllite matching wavelength (平行纖維方向: $n_{o11}=1.605$)

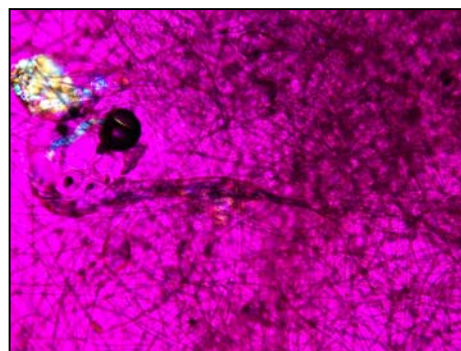
λ_0	19°C	21°C	23°C	25°C	27°C	29°C	31°C
400	1.631	1.630	1.629	1.628	1.627	1.626	1.625
420	1.626	1.625	1.625	1.624	1.623	1.622	1.621
440	1.623	1.622	1.621	1.620	1.619	1.618	1.617
460	1.620	1.619	1.618	1.617	1.616	1.615	1.614
480	1.617	1.616	1.615	1.614	1.614	1.613	1.612
500	1.615	1.614	1.613	1.612	1.611	1.610	1.610
520	1.613	1.612	1.611	1.610	1.609	1.608	1.608
540	1.611	1.610	1.609	1.608	1.608	1.607	1.606
560	1.610	1.609	1.608	1.607	1.606	1.605	1.604
580	1.608	1.607	1.606	1.606	1.605	1.604	1.603
589	1.608	1.607	1.606	1.605	1.604	1.603	1.602
600	1.607	1.606	1.605	1.604	1.603	1.603	1.602
620	1.606	1.605	1.604	1.603	1.603	1.602	1.601
640	1.605	1.604	1.603	1.602	1.601	1.600	1.600
660	1.604	1.603	1.602	1.601	1.600	1.600	1.599
680	1.603	1.602	1.601	1.600	1.600	1.599	1.598
700	1.602	1.601	1.601	1.600	1.599	1.598	1.597
750	1.601	1.600	1.599	1.598	1.597	1.596	1.595
800	1.599	1.598	1.597	1.596	1.595	1.595	1.594

(七) 礦物纖維 (Mineral wool fibers):

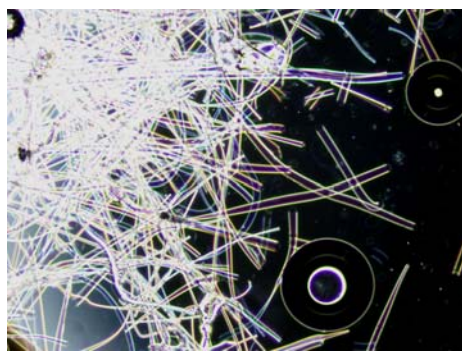
1. 纖維結晶：立方結晶系 (cubic crystal system)
2. 纖維型態：直徑會變，奇特的形狀
- 3 顏色：無色
4. 多色性：無。
5. 折射率：1.52-1.70 (平行纖維方向)
1.52-1.70 (垂直纖維方向)
6. 雙折射率：0
7. 消光角：無
8. 延長性符號：無
9. 中央光阻色散染色 ($n_{oi}=1.55$):
淡藍 (平行纖維方向)、淡藍 (垂直纖維方向)



單偏極觀察



正交偏極+互補板觀察



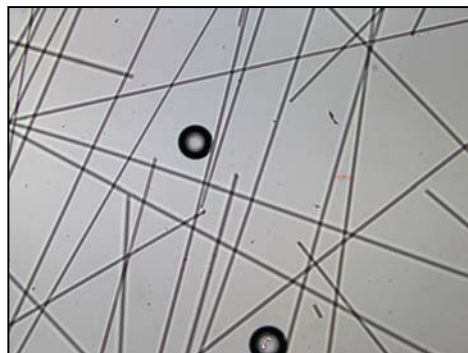
中央光阻色散染色觀察

圖 4-1.8 礦物纖維

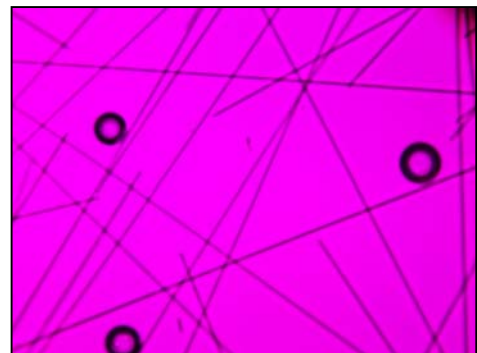
(八) 玻璃纖維 (Glass fibers):

1. 非結晶
2. 纖維型態：直徑均一、筆直
3. 顏色：無色
4. 多色性：無。
5. 折射率：1.550 (平行纖維方向)
1.550 (垂直纖維方向)
6. 雙折射率：0
7. 消光角：無
8. 延長性符號：無
9. 中央光阻色散染色 ($n_{oi}=1.55$):

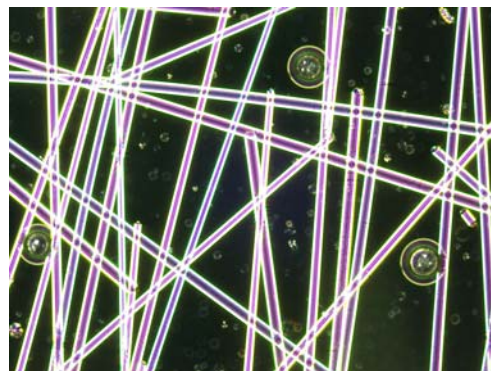
藍色—洋紅 (平行纖維方向)、藍色—洋紅 (垂直纖維方向)



單偏極觀察



正交偏極+互補板觀察



中央光阻色散染色觀察

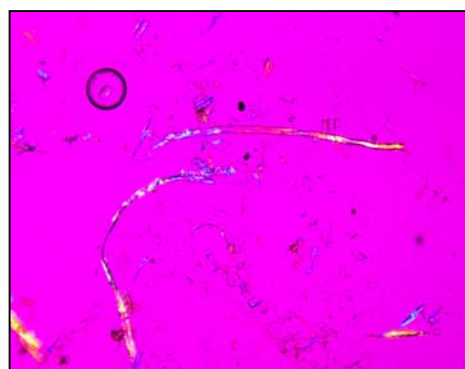
圖 4-1.9 玻璃纖維

(十) 木質類纖維 (Paper fibers):

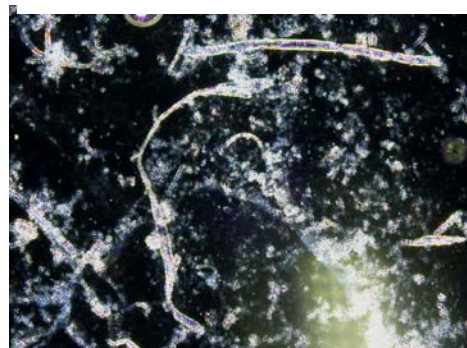
1. 纖維種類：天然有機纖維
2. 纖維型態：扁平不規則絲狀
3. 顏色：無色、黃色
4. 多色性：無。
5. 折射率：1.58 (平行纖維方向)
1.53 (垂直纖維方向)
6. 雙折射率：高 (0.05)
7. 消光角：通常 0°
8. 延長性符號：正
9. 中央光阻色散染色 ($n_{oi}=1.55$):
淡黃 (平行纖維方向)、淡藍 (垂直纖維方向)



單偏極觀察



正交偏極+互補板觀察

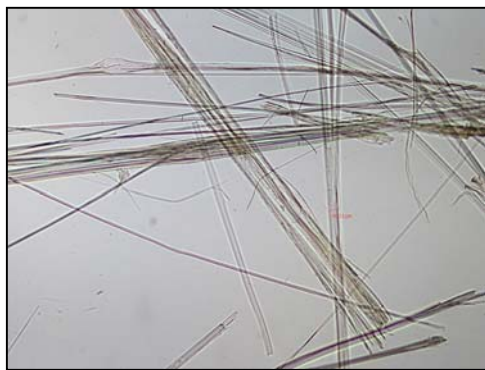


中央光阻色散染色觀察

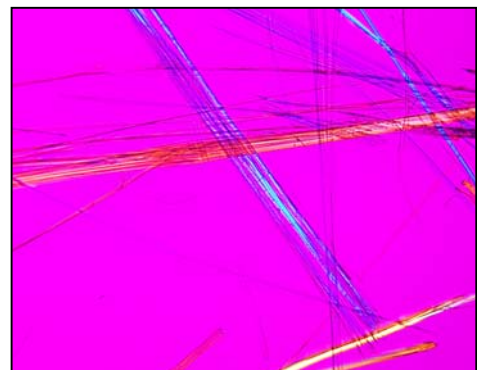
圖 4-1.10 木質類纖維

(十) 氫氧鎂石 (Brucite):

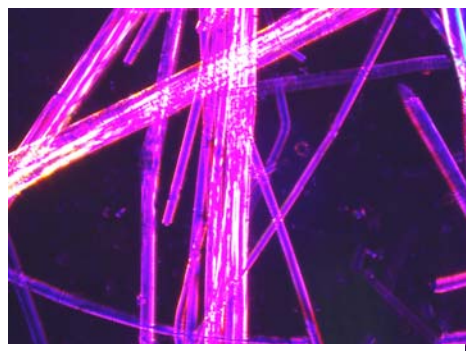
1. 纖維結晶：六方結晶系 (hexagonal crystal system)
2. 纖維型態：波浪狀到直線狀的纖維，微細或成束
- 3 顏色：無色
4. 多色性：無。
5. 折射率：1.58 (平行纖維方向)
1.59 (垂直纖維方向)
6. 雙折射率：低 (0.12)
7. 消光角：通常 0° 、偶爾 45°
8. 延長性符號：負
9. 中央光阻色散染色 ($n_{oi}=1.55$):
金黃色 (平行纖維方向)、黃色 (垂直纖維方向)



單偏極觀察



正交偏極+互補板觀察



中央光阻色散染色觀察

圖 4-1.11 氫氧鎂石纖維

(十一) 鈣矽石 (Wollastonite):

1. 纖維結晶：三斜結晶系 (triclinic crystal system)
2. 纖維型態：波浪狀到直線狀的纖維，微細或成束
- 3 顏色：無色
4. 多色性：無。
5. 折射率：1.64 (平行纖維方向)
1.62-1.65 (垂直纖維方向)
6. 雙折射率：中 (0.02)
7. 消光角：0—45°
8. 延長性符號：負 (20%)、正 (80%)
9. 中央光阻色散染色 ($n_{oi}=1.605$):

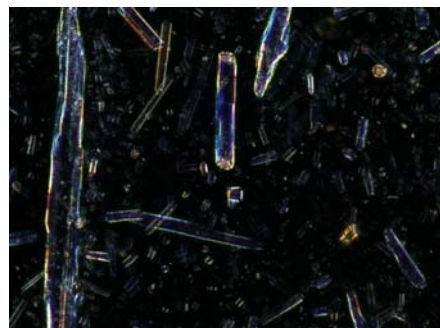
金黃色 (平行纖維方向)、黃到洋紅 (垂直纖維方向)



單偏極觀察



正交偏極+互補板觀察

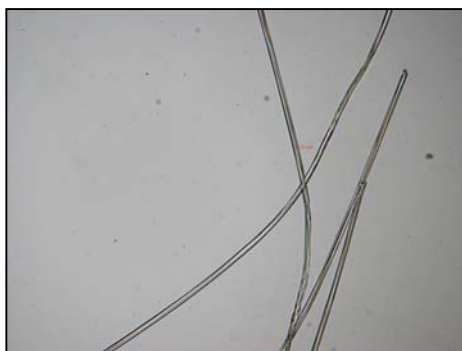


中央光阻色散染色觀察

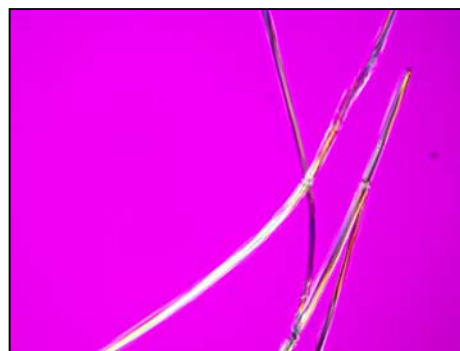
圖 4-1.12 鈣矽石纖維

(十二) 螺縲 (Rayon) :

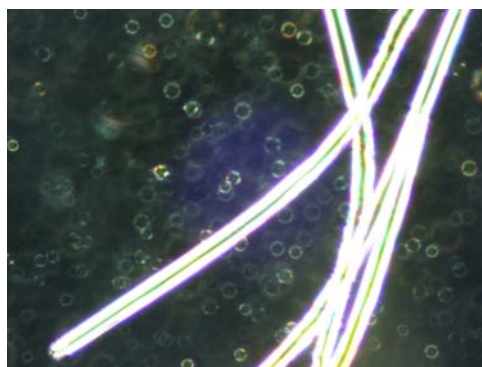
1. 纖維種類：人造纖維
2. 纖維型態：長且有固定之截面
- 3 顏色：無色
4. 多色性：無。
5. 折射率：1.480 (平行纖維方向)
1.476 (垂直纖維方向)
6. 雙折射率：低 (0.004)
7. 消光角：0°
8. 延長性符號：負
9. 中央光阻色散染色 ($n_{oi}=1.55$) :
白色 (平行纖維|方向)、白色 (垂直纖維方向)



單偏極觀察



正交偏極+互補板觀察



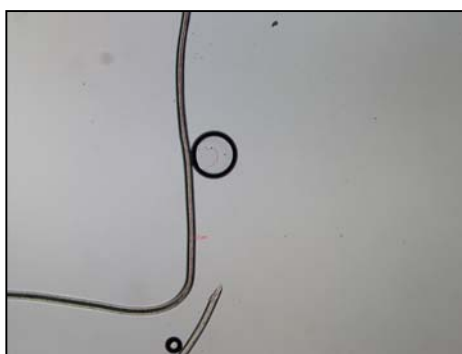
中央光阻色散染色觀察

圖 4-1.13 螺縲 (Rayon)

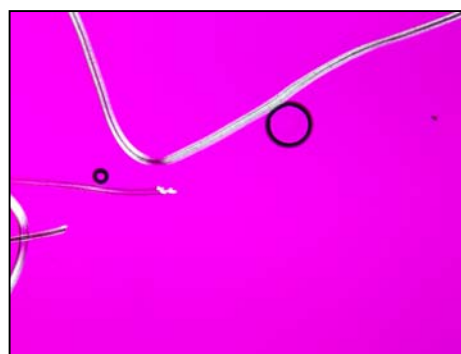
(十三) 聚酯纖維 (Polyester):

1. 纖維種類：人造纖維
2. 纖維型態：長且有固定之截面
- 3 顏色：無色
4. 多色性：無。
5. 折射率：1.710 (平行纖維方向)
1.535 (垂直纖維方向)
6. 雙折射率：高 (0.175)
7. 消光角：0°
8. 延長性符號：正
9. 中央光阻色散染色 ($n_{oi}=1.55$):

白色 (平行纖維方向)、淡藍-綠 (垂直纖維方向)



單偏極觀察



正交偏極+互補板觀察



中央光阻色散染色觀察

圖 4-1.14 聚酯纖維

第二節 96 年度委託技術服務執行成果

本年度受理石棉鑑定委託案完成 119 件業者委託服務案，試件項目共分為板類、塗料類、磚類、油類、地毯類、門窗類及玻璃類，而檢驗出纖維種類經統計有白石綿 1 件、礦物纖維(岩棉)9 件、玻璃纖維 8 件、纖維素纖維 22 件，無纖維 79 件；其中板類及塗料類建材佔總委託案之 87%，針對板類建材鑑定結果可分為玻璃纖維、礦物纖維(岩棉)及纖維素纖維 3 類，塗料類建材鑑定結果指出皆未含纖維成分。

表 4-2.1 本年度受理石棉鑑定委託技術服務案

編號	試件名稱	鑑定結果	備註
R-07-00001	○○矽酸鈣板	兩種纖維有 30% 1. 白石綿 15% 2. 纖維素纖維 15%	
R-07-00002	○○ Wallcoat	無纖維	
R-07-00003	○○多彩塗料(M)	無纖維	
R-07-00004	○○PU 塗料(G1-2101)	無纖維	
R-07-00005	○○彩美漆(乳膠漆)	無纖維	
R-07-00006	○○光波水性水泥漆	無纖維	
R-07-00007	○○岩棉金屬隔間板	礦物纖維(岩棉)	
R-07-00008	○○止滑劑	無纖維	
R-07-00009	○○ 環保塑合板	纖維素纖維	
R-07-00010	○○纖維水泥板	纖維素纖維	
R-07-00011	○○耐磨地板鎖	纖維素纖維	
R-07-00012	○○竹炭漆	無纖維	
R-07-00013	○○撥水漆	無纖維	
R-07-00014	○○COLOR	無纖維	
R-07-00015	○○水性木器漆(WWS001)	無纖維	
R-07-00016	○○地磚(K131)	無纖維	
R-07-00017	○○ PVC 地磚(2146)	無纖維	
R-07-00018	○○漆(RC-1003)	無纖維	
R-07-00019	○○高壓凝土地磚	無纖維	

第四章 試驗結果與建議

編號	試件名稱	鑑定結果	備註
R-07-00020	○○透水磚 XI 型	無纖維	
R-07-00021	○○耐撞纖維矽酸鈣板	纖維素纖維	
R-07-00022	○○木器塗料	無纖維	
R-07-00023	○○岩棉板	礦物纖維(岩棉)	
R-07-00024	○○岩棉板	礦物纖維(岩棉)	
R-07-00025	○○實木地板	纖維素纖維	
R-07-00026	○○Low VOC White	無纖維	
R-07-00027	○○止滑劑(SOLOMON)	無纖維	
R-07-00028	○○防潮塑合板	纖維素纖維	
R-07-00029	○○石膏板	玻璃纖維	
R-07-00030	○○防潮石膏板	玻璃纖維	
R-07-00031	○○矽酸鈣板	纖維素纖維	
R-07-00032	○○COAT N-95	無纖維	
R-07-00033	○○塗料-GC99 系列	無纖維	
R-07-00034	○○乳膠漆 白色	無纖維	
R-07-00035	○○環氧樹脂漆	無纖維	
R-07-00036	○○防火石膏板(GB-R)	玻璃纖維	
R-07-00037	○○防霉漆-白色	無纖維	
R-07-00038	○○鋁合金架高地板	無纖維	
R-07-00039	○○木質地板	纖維素纖維	
R-07-00040	○○亮彩琉璃馬賽克	無纖維	
R-07-00041	○○水性木器漆	無纖維	
R-07-00043	○○竹炭漆 (GC-W)	無纖維	
R-07-00045	○○乳膠漆	無纖維	
R-07-00046	○○涼	無纖維	
R-07-00047	○○室內平光水性水泥漆	無纖維	
R-07-00048	○○巴西紫檀	纖維素纖維	
R-07-00049	○○地板-巴西紫檀	纖維素纖維	
R-07-00051	○○無苯漆	無纖維	
R-07-00052	○○護木油	無纖維	
R-07-00053	○○撥水漆	無纖維	
R-07-00054	○○地磚	無纖維	
R-07-00055	○○環保木地板	纖維素纖維	
R-07-00056	○○波龍編織地毯	非石綿纖維	

編號	試件名稱	鑑定結果	備註
R-07-00057	○○矽酸鈣板	纖維素纖維	
R-07-00058	○○PU 防水塗料	無纖維	
R-07-00059	○○地床塗料	無纖維	
R-07-00060	○○熱固性樹脂裝飾板	纖維素纖維	
R-07-00061	○○ SPRAYFILM	無纖維	
R-07-00062	○○環氧樹脂漆 A-581	無纖維	
R-07-00063	○○晟鈺平面窗	礦物纖維(岩棉)	
R-07-00064	○○金屬隔間牆副構材	礦物纖維(岩棉) 玻璃纖維	
R-07-00066	○○磁磚黏著劑	無纖維	
R-07-00067	○○磁磚填縫劑	無纖維	
R-07-00068	○○塑麗二度底漆	無纖維	
R-07-00069	○○華麗板(中空發泡板)	無纖維	
R-07-00070	○○粒片板	纖維素纖維	
R-07-00071	○○乳膠漆 601 白色	無纖維	
R-07-00072	○○塑麗平光噴漆 75%	無纖維	
R-07-00073	○○塑光窗	無纖維	
R-07-00074	○○平光內牆乳膠漆	無纖維	
R-07-00075	○○水性無機防霉塗料	無纖維	
R-07-00076	○○乳膠漆	無纖維	
R-07-00077	○○隔間牆板	無纖維	
R-07-00078	○○水性多彩塗料	無纖維	
R-07-00079	○○健康塗料	無纖維	
R-07-00080	○○纖維水泥板	纖維素纖維	
R-07-00081	○○水性木器漆	無纖維	
R-07-00082	○○水性水泥漆	無纖維	
R-07-00083	○○環保透水磚	無纖維	
R-07-00084	○○硬殼發泡板	無纖維	
R-07-00085	○○輕質纖維水泥板	玻璃纖維	
R-07-00086	○○矽酸鈣板	纖維素纖維	
R-07-00087	○○中空陶粒板	無纖維	
R-07-00088	○○除醛癌甲殼素健康塗料	無纖維	
R-07-00089	○○岩棉裝飾吸音板	礦物纖維(岩棉) 玻璃纖維	

第四章 試驗結果與建議

編號	試件名稱	鑑定結果	備註
R-07-00090	○○再生粒料(RS-G)	無纖維	
R-07-00091	○○再生粒料(RS-C)	無纖維	
R-07-00092	○○再生粒料(RS-S)	無纖維	
R-07-00093	○○木絲吸音板	纖維素纖維	
R-07-00094	○○塗料	無纖維	
R-07-00095	○○乳膠漆	無纖維	
R-07-00096	○○奈米光觸媒乳膠漆	無纖維	
R-07-00097	○○普納板	纖維素纖維	
R-07-00098	○○凝固型防火泥	玻璃纖維	
R-07-00099	○○窯燒透水磚	無纖維	
R-07-00100	○○鋁合金架高地板	無纖維	
R-07-00101	○○PVC板	無纖維	
R-07-00102	○○乳膠漆	無纖維	
R-07-00103	○○乳膠漆	無纖維	
R-07-00107	○○PVC塑膠地磚	無纖維	
R-07-00108	○○陶瓷纖維板	礦物纖維(岩棉) 玻璃纖維	
R-07-00109	○○陶瓷纖維板	礦物纖維(岩棉) 玻璃纖維	
R-07-00111	○○水性水泥漆 平光(白色)	無纖維	
R-07-00112	○○水性水泥漆 有光(白色)	無纖維	
R-07-00114	○○阻燃板	纖維素纖維	
R-07-00115	○○矽酸鈣板	纖維素纖維	
R-07-00116	○○矽酸鈣板	纖維素纖維	
R-07-00117	○○健康塗料	無纖維	
R-07-00119	○○吸音板	礦物纖維(岩棉)	

第三節 結論與建議

(一) 結論：

立體及偏光顯微鏡，可以完全分辨石綿種類、分析速度快、靈敏度高、可靠性高，在石綿鑑定方面，是非常好之工具。但在定量計算方面，比較容易因鑑定人員之不同，而得到不同鑑定成果。

目前有部份研究利用立體及偏光顯微鏡作為石綿定性分析之工具，並配合適當前處理，採 XRD 繞射法作為石綿定量估算之依據，建議未來可進一步研究。

鑒於採用立體及偏光顯微鏡分析法之儀器操作人員應熟悉各類纖維型態、顏色等光學性質，本案已完成常見纖維之型態、顏色、多色性、消光性、延長性、折射率、雙折射率、貝克線效應等光學性質特性分析比對，並比對結果建立相關資料庫與參考樣品（玻片），俾供日後實驗室內部人員教育訓練及品質管制。

另研究執行期間，計完成 119 件石綿鑑定技術服務，及相關操作手冊與表單之制訂，並於今年 10 月向 TAF 申請增項認證中。

完成蒐集石綿基本特性資料及國內外相關管制情形，以利未來相關單位行政工作推動參考。

(二) 建議：

目前本所已建置乙台 SHIMADZU XRD-6000 繞射光譜儀，建議可擴充原設備，增購薄膜繞射配件、及適用石綿鑑定用環境樣品分析座等，俾利日後比對研究。

參考書目

1. Virta RL. Worldwide asbestos supply and consumption trends from 1900 to 2000. USGS Survey; 2003.
2. IARC. Asbestos. In: IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans. Supp7: Overall Evaluations of Carcinogenicity: An Updating of IARC Monographs Volumes 1 to 42. Lyon: International Agency for Research on Cancer, 1987.
3. Hilt B, Langard S, Andersen A, Rosenberg J. Asbestos exposure, smoking habits, and cancer incidence among production and maintenance workers in an electrochemical plant. *Am. J. Ind. Med* 1985; 8: 565-577.
4. 歐洲聯盟職業病診斷指引 1994。勞委會編印，1997。
5. Tossavainen A. Global use of asbestos and the incidence of mesothelioma. *Int J Occ Env Health* 2004
6. 職場危害因子白石綿容許標準建議值, 勞工安全衛生所網頁。
7. U.S. Environmental Protection Agency Method for the Determination of Asbestos in Bulk Building Materials (EPA/600/R-93/116), R. L. Perkins and B. W. Harvey. ,1993
8. Asbestos ,Chrysotile by XRD, NIOSH9000,1994.
9. Determination of Asbestos in building material products, JISA1481,2006
10. NIOSH7402,1994, “Asbestos by TEM”。
11. Amphibole Fibres in Chinese Chrysotile Asbestos, Helsinki Finland, *Ann. occup. Hyg.* Vol. 45. No. 2 pp145-152, 2001
12. Grafting of phenylarsonic and 2-nitrophenol-4-arsonic acid onto disordered silica obtained by selective leaching of brucite-like sheet from chrysotile structure, Fernando Wypych, *Journal of Colloid and Interface Science* 276 pp167-173, 2001

13. Rodriguez, J. " Changes in optical properties of chrysotile during ashing" ,Microscope 33, 203-221, 1985
14. Kessler, J. R, " Changes in optical properties of chrysotile during acid leaching" Microscope 31, 165-174, 1983
15. 陳文卿、楊奉儒、黃進修、關家倫、陳禱、林淑華、藍得彰、廖錦聰、董時堅、陳崇智， "再生綠建材技術開發與推廣應用（四）"，內政部建築研究所研究補助研究報告，民國 95 年。
16. CNS 13970 A3365, "鋼骨構造用噴附式防火被覆材料石綿含量試驗法"。
17. NIEA R401. 21T, "含石綿物質及廢棄物中之石綿檢測方法"。
18. NIOSH9002, 1994, "Asbestos (bulk) by PLM"。
19. Walter C. McCrone" Calculation of Refractive Indices from Dispersion Staining Data" ,Microscope 1989。
20. John Gustav Delly "Inexpensive Orange Filter for Refractive Index Determination" ,Microscope 1988。
21. Walter C. McCrone" Asbestos Identification" ,2004

立體、偏光顯微鏡石綿鑑定分析紀錄表

委託編號：_____

分析日期：_____

樣品編號：_____

分析方法：NIEA R401.21T

CNS13970 A3365

1. 是否含有纖維？是 否

2. 纖維形態

a. 白色，具有成束之波狀，曲折蜿蜒平直，部分細短

b. 白一黃，細小成束狀，表面平滑彎曲而且長直，具反彈力

c. 類似 b，但在頂光反射下呈現藍一黑色

d. 透明，無色到灰色或黃褐色，具有均勻直徑，易脆纖維

e. 連續長之絲狀，具有固定直徑

3. 裱數色散染色使用折射率液

a. 1.550 b. 1.605 c. 1.680

4. 等向性纖維 異向性纖維 若為等向性纖維則為非石綿

5. 裱數色散染色 1.550 為扁平絲狀物，表面具有少數斑點 是 否

6. 延長性符號 正 負

7. 消光性是 平行 傾斜或 起伏

8. 是否執行中央阻色散染色。？是 否

是 ⊥ _____ || _____

9. 是否需要估算纖維含量？是：立體顯微鏡預估纖維含量 _____ % 否

10. 是否需要估算石綿含量(綜合立體顯微鏡及偏光顯微鏡估計結果) 否 是

a. 白石綿， _____ % b. 褐石綿， _____ c. 青石綿， _____ %

d. 斜方角閃石， _____ % e. 透閃石一陽起石 _____ %

11. 其他纖維

a. 玻璃纖維 b. 礦物纖維 c. 纖維素纖維 d. 合成纖維 e. 其他

12. 判斷結果： 該樣品不含石綿(<1%) 該樣品含石綿如 10 估算含量

操作人員：

品質主管：

技術主管：

實驗室主管：



內政部建築研究所

Architecture and Building Research Institute,
Ministry of the Interior

QS-14-02

地址：711 台南縣歸仁鄉六甲村中正南路一段 2496 號

電話：(06)3300504-2105 或 2108

傳真：(06)3300480

試驗報告

委託者：_____ 委託編號：_____

試件名稱：_____ 試件編號：_____

委託日期：_____ 承辦日期：_____ 試件收件日期：_____

報告日期：_____ 總頁數：__ 本頁為第__頁

試驗項目	方法	結果	備註

委方提供資料：

1. 試件用途：
2. 試件成份：
3. 試件規格：

※ 注意事項：

1. 本報告僅對送檢試件負責，供申請單位參考用，但不作商業推銷廣告之用。
2. 本報告內容不得以任何方式翻印或複製。偽造或變造本報告者，依法追究其法律責任。
3. 歡迎隨時向本實驗室服務窗口查詢本資料的正確性，以保障您的權益。

內政部建築研究所
性能實驗中心：

報告簽署人：

實驗室主管：

QS-14	版本	1.0
主題：立體、偏光顯微鏡 石綿鑑定標準書	發行日期	95.05.01
	頁次	77

1. 概述：

本方法對石綿纖維之定義為長度直徑比大於3：1，且具有石綿的光學性質者。鑑定含石綿物質及廢棄物樣品中是否含石綿，首先是以低倍率立體顯微鏡檢查樣品中纖維分布狀況，然後利用偏光顯微鏡鑑定可疑之纖維，從其光學特性，可做石綿種類鑑定及含量測定。偏光顯微鏡具有二個偏極濾片被用來觀察樣品特殊光學性質，使用平面偏極光可以測得沿著特殊結晶軸之折射率指數，同時亦可觀察到樣品的形態及顏色，使用正交照明將延遲板置於偏極光路徑可測得延長性符號。若將二個濾片定位，在振動平面互相垂直（正交偏極）下，可以觀察到異向性顆粒之雙折射及消光性。定量分析包含適當綜合使用立體顯微鏡總量及偏光顯微鏡測試結果，可以得到最佳之樣品石綿含量預估，此種分析技術的背景資料可以得到合理解釋。此方法適用於所有含石綿物質及廢棄物中石綿鑑定及含量測定。

1.1. 目的：

本作業規範提供鑑定含石綿物質及廢棄物樣品中是否含石綿，使作業統一及標準化，減少人為因素之誤差。

1.2. 適用範圍：

本法適用於含石綿物質及廢棄物中石綿之鑑定及含量測定，測定範圍為1% ~100%石綿纖維。

1.3. 待測(校)件規格說明：

無

2. 試驗儀器/環境需求/人員資格：

QS-14	版本	1.0
主題：立體、偏光顯微鏡 石綿鑑定標準書	發行日期	95.05.01
	頁次	78

2.1. 試驗儀器：

2.2.1 偏光顯微鏡，具有偏極鏡、分析鏡，可 360° 旋轉具有小刻度之載物台、聚焦照明配備、可聚焦 $\geq 0.9\text{NA}$ 聚光鏡。

(1) 接物鏡：10 倍，20 倍及 40 倍或相近者

(2) 目鏡：最小 10 倍

(3) 目鏡細網：十字絲

(4) 色散染色目鏡（中央光阻）

(5) 互補板：例如 $550\pm 20\text{nm}$ ，延遲「第一級紅色」。

2.2.2 試劑

(1) 色散染色用折射率指數 (RI) 液：高色散 (HD) 系列，1.550，1.605，1.620 及 1.630。

(2) 折射率指數液：1.670，1.680，及 1.700。

(3) 石綿參考樣品，例如 SRM#1866。

(4) 試劑水：去離子蒸餾水。於 20°C 溫度下電阻係數大於或等於 16M $\Omega\cdot\text{cm}$ 者。

(5) 濃鹽酸：試劑級。

2.2.3 顯微鏡玻片：75mm × 25mm

2.2.4 蓋玻片：22mm × 22mm

2.2.5 研磨鉢和研杵：瑪瑙或瓷器

2.2.6 立體顯微鏡，10~45 倍

2.2.7 分開針、闊扁抹刀、探針、外科手術刀

2.2. 環境需求：

具有排煙櫃或抽氣櫥之實驗室

2.3. 人員資格：

2.3.1. 具備相關之教育、訓練、技術與經驗。分析人員必須受過偏光顯微鏡及其應用結晶性樣品分析訓練，此外亦可在已經受過塊狀石綿樣品

QS-14	版本	1.0
主題：立體、偏光顯微鏡 石綿鑑定標準書	發行日期	95.05.01
	頁次	79

分析訓練人員指導下取代基礎訓練。

2.3.2. 熟悉本測試程序及相關參考資料與規範，由於此方法是配合圖片範例，參考樣品及目視判斷，所以必須經常練習。

3. 準備事項：

3.1. 名詞解釋：

無

3.2. 樣品準備：

取 1~10 克具代表性之待測樣品於樣品容器中（註 1）。

4. 試驗步驟：

4.1 利用低倍率立體顯微鏡觀察樣品，（假如需要，可以小心地從承裝容器內移出樣品，放置於半透明玻璃片或乾淨玻璃平板上檢測），分開部分之樣品，檢查顯露出纖維之邊緣，注意樣品的均勻性，有些較硬之磚瓦，先將其粉碎。然後檢查顯露之纖維，假如發現纖維，預估其含量及石綿種類，並確定石綿種類以及定性分析（步驟 4.3）。

4.2. 若有飛散性樣品，在排煙櫃中打開樣品容器，以鑷子取出少量且代表性之樣品。

4.2.1. 假如可以明顯的分出不同層次，則對每一層次進行個別分析。

4.2.2. 假如樣品明顯的不夠均勻，以鑷子或扁闊抹刀在樣品容器內混合，或者取少量不同種類的樣品置於玻片。

4.2.3. 對於硬瓦類樣品可能具有薄而且不易細分之層次，使用外科手術刀片切斷樣品層，使成為代表性樣品，然後在降低厚度之前，裱敷折射率指數液後，將樣品切成更細小，或者使用低速螺旋錐手鑽移出代表性樣品，但是必需特別注意，熱將使得樣品之光學性質發生改變。（註 2）

4.2.4. 假如樣品具有大而且硬之顆粒，則有必要在研磨砵內研磨，但不

QS-14	版本	1.0
主題：立體、偏光顯微鏡 石綿鑑定標準書	發行日期	95.05.01
	頁次	80

可研磨過細使得破壞纖維特性。

- 4.2.5. 若如有需要，可將樣品置於排煙櫃內，以適當之溶劑除去樣品中的黏合物、焦油及可能出現之干擾物質。並以被除去之非石綿物質質量校正分析結果。（註3）
- 4.2.6. 取出少量樣品置於玻片，加上數滴折射率指數液於樣品，以探針修整或以扁平之抹刀尾端壓平顆粒，使其得到平整厚度，如此才可得到較佳投影面積百分比，儘可能在玻片內混合纖維與顆粒使其均勻。（註4）
- 4.3 掃描玻片上之樣品，利用其型態、折射率指數、顏色、多色性、雙折射、消光性、延長性符號及色散染色之光學性質，可鑑定石綿種類，見表一及表二。（註5）
- 4.3.1. 裱敷 1.550 高色散折射率指數液於玻片樣品，調整偏極濾片使偏極鏡部分正交，例如凸出 15° ，然後掃瞄觀察玻片上出現之纖維形態，假如沒有發現纖維，再另外準備之玻片重覆測試，若仍然未發現纖維，報告上註明未檢出石綿纖維。
- 4.3.2. 假如發現纖維存在，調整偏極濾片使其完全正交，假如全部纖維為等向性物質（旋轉時在所有方向消失）則這些纖維並非石綿纖維，通常可能為玻璃纖維及岩棉，假如只有等向性物質同樣出現在另外準備之玻片，報告上註明未檢出石綿纖維。
- 4.3.3. 假如出現異向性物質，旋轉載物台觀察消光性角度，除了透閃石—陽起石具有 $10-20^\circ$ 不可見之消失性，其他石綿則顯示出平行消光性，透閃石可能顯示平行或不可見之消光性。
- 4.3.4. 插入紅色互補板（延遲 550 nm）測定延長性符號，除了青石綿外，其他石綿均具有延長性「十」符號，假如符號為「—」則操作步驟7，否則繼續下一操作步驟（註6）。

QS-14	版本	1.0
主題：立體、偏光顯微鏡 石綿鑑定標準書	發行日期	95.05.01
	頁次	81

- 4.3.5. 移去紅色互補板而且偏極鏡不予正交，檢查纖維—油交接面在平面偏極光下，藍及金黃—褐之貝克顏色（即折射指數符合），貝克顏色通常並不明顯，檢查纖維形態是否曲折，是否呈波浪狀束型，若是則為白石綿。假如形態曲折如絲帶狀而且外觀上有孔洞則可能為纖維素纖維，假如折射率指數很接近 1.550，則有必要部分正交偏極以便觀察纖維。
- 4.3.6. 白石綿鑑定：插入色散染色目鏡，觀察到藍—洋紅色之色散染色則確定為白石綿，纖維素纖維通常在 1.550 折射率指數會干擾，但不會顯示出這種色散染色，假如鑑定為白石綿，則繼續操作步驟（二）進行定量分析，否則繼續下一操作步驟。
- 4.3.7. 青石綿鑑定：以 1.700 折射率指數液裱敷樣品，以平面偏極（未正交偏極）檢查青石綿之形態，青石綿平直堅硬，可能顯示藍或紫—藍，具有多色性質，當它隨著平面偏極光旋轉時會顯示顏色（藍或灰）改變，插入色散染色目鏡，中央隔板色散染色為紅洋紅色及藍洋紅色，有時這些顏色可能被藍黑色纖維遮蓋而無法觀察，假如以上之觀察確定青石綿，則繼續操作步驟（二）進行定量分析，否則繼續下一操作步驟。
- 4.3.8. 褐石綿之鑑定：以 1.680 折射率指數液裱敷樣品，觀察褐石綿形態特性，具有平直成束纖維，尾端呈現帚狀散裂或分散，假如形態上接近褐石綿，使用色散染色目鏡檢查纖維，藍色及淡藍色顯示為鎂閃石形態的褐石綿，金黃色及藍色顯示為鐵閃石形態的褐石綿，假如在此步驟確定為褐石綿，繼續操作步驟（二）進行定量分析，否則繼續下一操作步驟。
- 4.3.9. 斜方角閃石—透閃石—陽起石之鑑定：以折射率指數 1.605 高色散折射率指數液裱敷樣品，比較斜方角閃石—透閃石—陽起石

QS-14	版本	1.0
主題：立體、偏光顯微鏡 石綿鑑定標準書	發行日期	95.05.01
	頁次	82

之形態這些型態的石綿折射率指數隨著種類而不同，斜方角閃石具有幾乎平行消光性與陽起石、透閃石有很大區別，在平面—偏極光下，陽起石具有淡到深綠色而顯示有些多色性，這三種石綿纖維外觀上平直，單一纖維可能具有較大組成纖維，可能出現分裂碎片，使用中央光阻色散目鏡觀察，斜方角閃石為金黃／金黃—洋紅色；透閃石為淡藍及黃色，陽起石為洋紅色及金黃—黃色。在此種折射率指數範圍，鈣矽石在形態上，以及分裂碎片通常會干擾，鈣矽石具有延長性正及負之符號，平行消光性，而且中央光阻色散染色為淡黃及淡黃到洋紅色。若需要進一步確定鈣矽石或斜方角閃石則操作步驟 10。假如已經確定為上述之石綿纖維，則操作步驟（二）進行定量分析，假如上述鑑定未能發現石綿纖維，再測另外一個樣品，若結果一樣，報告上註明未檢出石綿。

4.3.10 要進一步確定鈣矽石或斜方角閃石透閃石，使用一滴濃鹽酸清洗玻片上之少量樣品，覆上蓋玻片後，以溫熱之熱板加熱直到乾燥，利用毛細管作用，逐滴加 1.620 折射率指數液於蓋玻片上，然後觀察玻片，鈣矽石不會產生「交叉線條」，呈現穿透纖維長度而且無中央光阻色散染色，斜方角閃石及透閃石則會有原始之色散染色。（註 7）

註 1：對於較大之樣品（例如整個浪板）因為很少是呈均勻分佈的，且分析時只取少量樣品，因此必須調整採樣之樣品大小以確保其代表性。

註 2：這類樣品通常需要灰化或其他特別前處理。

註 3：其他樣品前處理之方法包括如酸或磷酸鈉以及灰化處理。

註 4：蓋玻片必須全部蓋住均勻分散的樣品，有些樣品顆粒將被用來判

QS-14	版本	1.0
主題：立體、偏光顯微鏡 石綿鑑定標準書	發行日期	95.05.01
	頁次	83

斷玻片上樣品含量，太少之樣品可能無足夠資料，而樣品太多則又造成分析之不便。

註 5：利用偏光顯微鏡鑑定石綿技術之分析品質，完全決定於分析人員之技巧及判斷。

註 6：測定顯微鏡特殊方向之延長性符號，可以檢查已知白石綿樣品，注意藍色色澤方向（NE-SW 或 NW-SE），白石綿具有延長性"十"。

註 7：選用不同之分析程序，取代上述分析步驟亦可得到相同結果，一些取代方法如下：

- (1)針對出現之石綿纖維使用正交偏極及第一級紅色互補板執行掃瞄觀察，此將可以同時觀察到雙折射及非結晶物質，同時亦可得到延長性符號，某些被灰泥蓋住之纖維最好以這種方式觀察。
- (2)有些分析人員喜歡以不同於石綿物質之 RI 液裱敷樣品，而且在平面偏極光下完成初步檢查。
- (3)假如樣品也會有所不同，參考合適石綿參考樣品在實際使用 RI 液下顯現之特殊顏色。

QS-14	版本	1.0
主題：立體、偏光顯微鏡 石綿鑑定標準書	發行日期	95.05.01
	頁次	84

表一、 石綿纖維之光學性質

礦 物	形態及顏色	折 射 率 指 數 (近 似 值)		
		∥ 於 延長性	⊥ 於 延長性	雙 折 射
白 石 綿	波浪狀纖維，纖維成束 尾端分叉及糾結，加熱 後無色到淡褐色，非多 方向性，外觀比率通常 > 10 : 1	1.55	1.54	0.002-0.014
鎂 閃 石 — 鐵 閃 石 (褐 石 綿)	平直成束纖維，尾端呈 現帚狀散裂或分散，加 熱後無色褐色，可能具 有微弱的多色性，通常 外觀表 > 10 : 1	1.70	1.67	0.02-0.03
青 石 綿 (鈉 閃 石)	平直成束纖維，纖維長 而且呈現彎曲，束狀尾 干擾顏色可利用藍色隱蔽 端散裂其有藍色之特性 ，多色性外觀比率通常 > 10 : 1	1.70	1.71	0.014-0.016
斜 方 角 閃 石	平直成束纖維，裂片通 常呈現無色到淡褐色， 微弱多色性到無多色性 ，外觀比率通常 < 10 : 1	1.63	1.61	0.019-0.014
透 閃 石 陽 起 石	平直而且彎曲纖維，通 常呈現裂片狀，大纖維 束顯示尾端散裂，透閃 石為無色陽起石為綠色 而且輕微到中度多性， 外觀比率通常 < 10 : 1	1.62- 1.664 (透閃石) 1.64- 1.68 (陽起石)	1.60- 1.60 1.62- 1.67	0.02-0.03

QS-14	版本	1.0
主題：立體、偏光顯微鏡 石綿鑑定標準書	發行日期	95.05.01
	頁次	85

表二、石綿纖維之消光性、延長性符號及中央光阻色散染色

礦物	消光性	延長性符號	中央光阻色散染色		
			高色散折射率指示液	⊥	
白石綿	平行於纖維長	+	1.550	藍色	藍色—洋紅
鎂閃石- 鐵閃石 (高溫下纖維將失去色散染色)	平行於纖維長	+	1.670	紅洋紅色	黃色—藍色 (褐石綿)
青石綿	平行於纖維長	-	1.700 (鈉閃石)	紅洋紅色	藍—洋紅
斜方角 閃石	平行於纖維長	+	1.605	藍色	金黃到金—洋紅色
			1.620	金黃色	藍—綠色
透閃石- 陽起石	裂片於 10-20° 傾斜，有些纖 維組成顯示 消光性	+	1.605	淡藍 (透閃石) 黃色 (陽起石)	黃色 (透閃石) 淡黃色 (陽起石)

5. 注意事項：

- 5.1 裱敷纖維表面可以觀察到石綿纖維的光學特性，但是塗噴之黏附物質可能蓋住纖維表面造成干擾。
- 5.2 小於顯微鏡解析度（例如 0.3 μm）無法被檢出。
- 5.3 酸處理可能改變石綿纖維折射率指數及顏色變化。
- 5.4 樣品分配不均勻時，無法得到代表性樣品，需做重覆分析。

6. 資料分析：

綜合總量及顯微鏡測試結果，可以得到樣品中石綿之最佳含量分析值。假如鑑定結果為石綿，報告上註明樣品「含有石綿」同時應該以百分比範圍表示，至於更大量之樣品則可使用 SRM #1866 協助檢驗。

QS-14	版本	1.0
主題：立體、偏光顯微鏡 石綿鑑定標準書	發行日期	95.05.01
	頁次	86

7. 參考資料：

- 7.2.1 含石綿物質及廢棄物中之石綿檢測方法 NIEA R401.21T
- 7.2.2 鋼骨構造用噴附式防火被覆材料石綿含量試驗法 CNS13970 A3365
- 7.2.3 NIOSH Manual of Analytical Methods, Method 9002, Asbestos (bulk)
8/15/1994.

8. 附件：

- 8.1. 立體、偏光顯微鏡石綿鑑定分析紀錄表 QS-16-01
- 8.2. 立體、偏光顯微鏡石綿鑑定分析試驗報告 QS-16-02

附錄二、期初審查意見執行情形

審查意見	處理情形
1. 目前性能實驗中心有關石綿鑑定檢測部分係採用偏光顯微鏡法，該方法完全取決於分析人員的分析技巧及判斷，其不確定度為何？請加以探討。	遵照辦理，已進行實驗室內部人員能力比對。
2. 國外對石綿及石綿製品係採全面禁用之規定，而國內建築法規卻採用刪除列舉之規定，沒有列舉的部份是否仍含有石綿？請加以說明。	遵照辦理，詳第二章所示。
3. 國內外是否還有其他更好鑑定技術，可以提升檢測準確度？請補充說明。	遵照辦理。
4. 建議能建立石綿纖維判讀之資料庫，俾供人員鑑定檢測之參考依據，避免人為誤差發生。	遵照指示辦理，已完成石綿纖維判讀之資料庫。

附錄三、期中審查意見執行情形

審查意見	處理情形
1. 第8頁提及美國1992年起全面禁止石綿製品並不正確，請修正。	遵照辦理，已修正。
2. 關於建材石綿之鑑定需經前處理，建議在前處理方法上建立不同建材之前處理標準程序，並做驗證；另在樣品前處理過程，需注意個人防護器具及安全衛生基準下執行。	遵照辦理，詳第三章所示。
3. 美國國家職業安全衛生研究所為NIOSH非NOISH，請修正。	遵照辦理，已修正。
4. 期中報告全文引用參考文獻處，請在適當節次標示序號，以利考證。	遵照指示辦理。
5. 第14頁第7行：「Nylon，Dacron」，請加註中文名詞。	遵照辦理，已修正。
6. 第19、20頁倒數一行：「Polythylene」請修正為「Polyethylen」，並加註中文名詞。	遵照辦理，已修正。
7. 建研所同仁已建立石綿鑑定檢測之技術能力，將可提供更大的服務支援綠建材標章認證工作，深值肯定。	謝謝委員肯定。
8. 國內外石綿管制現況資料蒐集中，建議對於中國大陸的管制情形亦能加以分析探討。	遵照辦理，已補充。
9. 參訪McCRONE RESEARCH INSTITUTE對該機構之儀器、方法與建研所目前所使用的儀器方法建議於期末做介紹說明。	遵照辦理，已補充。
10. 本研究案報告撰寫內容太單薄，請加強。	遵照辦理。
11. 簡報檔第14頁提及日本於2006年9月全面禁止含有石綿的產品進口，明確規定石綿含量不超過0.1%，針對此點對於日本JIS標準之XRD繞射法的精密度不高，但以精密度較高的偏光顯微鏡法分析又無JIS標準，兩者比較分析不一致是否有矛盾，請提出說明。	遵照辦理，已補充。

附錄四、期末審查意見執行情形

審查意見	處理情形
1. 本案陳述石綿檢測鑑定技術十分詳細，對 TAF 認證及未來管制石綿之測試，具有實質貢獻。	謝謝委員肯定。
2. 建議補充使用偏光顯微鏡法之 S. O. P. 及 ISO 或 JIS 等相關標準。	遵照辦理，詳附錄所示。
3. 建議補充相關鑑定方面之關鍵技術，進行比較分析及說明。	遵照辦理，已補充。
4. 將各類纖維觀察後的圖片等資料整理並彙整，作為日後比對之用。	遵照指示辦理。
5. 國外資料收集請儘量完整。	遵照辦理。
6. 建議於報告中加入各種石綿檢測技術優缺點之比較探討。	遵照辦理，已補充。
7. 本研究主要建立立體及偏光顯微鏡石綿鑑定方法(非分析方法)，國內外參考文獻是否有類似方法與作業程序可供參考？	遵照辦理，已補充。
8. 請比對本研究與國外 TEST 的設備程序。	遵照辦理，已補充。
9. 政府公部門如環保署與標準檢驗局有針對石綿進行研究，建議是否將本研究數據進行比較，使成果更加完善。	遵照辦理，已補充。
10. 簡報內容有提及環保署目前研議 97 年 1 月 1 日全面禁止使用石綿瓦片、板、管、石綿水泥及纖維水泥板之製造，應是已正式公告禁止製造，請修正。	遵照辦理，已修正。
11. 建議補充不同纖維顏色、多色性、折射率、雙折射率等光學性質特性比對及觀察圖片等資料，俾利運用。	遵照辦理，已補充。
12. 立體及偏光顯微鏡石綿鑑定方法完全取決於人員的判斷技巧，請補充說明鑑定人員應建議參加哪些訓練，才不會發生誤判情形。	遵照辦理。