
飛灰不湮滅--石綿礦物剖析與健康風險

盧乙嘉^{1,2} 宋聖榮¹ 陳聖杰³ 李俊賢^{4,5,6,7*}

¹ 國立臺灣大學 地質科學系

² 國立臺灣師範大學 地球科學系

³ 臺北市私立延平高級中學

⁴ 國家衛生研究院 國家環境醫學研究所

⁵ 國立臺灣大學醫學院附設醫院 環境及職業醫學部

⁶ 國立臺灣大學 公衛學院職業醫學與工業衛生研究所

⁷ 高雄醫學大學 環境職業醫學博士學程

壹、引言

千瘡百孔的老屋經過怪手與鑽鑿機的雙重摧毀，在轟然巨響中頹然傾倒，上層的石綿瓦破碎後四處散落；都市更新中舊辦公室上頭簡易的輕鋼架應聲變形、裡頭的含石綿的礦纖合成板破裂而溢散成雪花般的碎片，霎時煙塵瀰漫。灰頭土臉的工人、匆匆行走的路人、路旁的流浪貓狗皆籠罩在迷茫的塵埃中，一呼一吸間，沒有任何的防護，細小的石綿纖維隨著呼吸道、消化道進到體內，沒人敢斷言這是否與數十年後產生的癌症有關。

蔡康花(化名)，71歲女士，疑似是工作中粉塵引起的間質性肺纖維化(interstitial pulmonary fibrosis, IPF)，經由環境職業醫學醫師在病房深入訪談，取得詳細的相關暴露史：患者自述小時其父為牙醫師，時常在家使用石膏製造假牙模型，研磨過程中可能會產生少量的粉塵。她 24

歲在臺灣成功大學完成建築相關大學學位後，到美國伊利諾州立大學完成碩士學位。碩士畢業後順利取得結構工程師證照，在美國擔任室內設計顧問，約在 35 歲那年(1980 年代中期)由於監督室內裝潢工作，進入非常多粉塵的工作環境，當時工人未遵循法規拆除含石綿舊建材，她在沒有配戴任何呼吸防護具下，極可能暴露在大量石綿纖維約十幾分鐘。她回憶之後也曾經數次短暫暴露在較多粉塵的工作環境。她在 1993 年回台灣後，又擔任結構技師 20 幾年，65 歲時退休，到 70 歲時才發生乾咳，呼吸困難，於某醫學中心胸腔科病房住院，經詳細檢查後診斷為間質性肺纖維化。

石綿，有著 3000 種以上工業應用的「神奇礦物」[森永謙二, 2002]，過去在臺灣許多產業中大量使用，包括造船及拆船業，石綿水泥建材製造，工廠的鍋爐及管線隔熱保溫等，還有建築營造業及室內裝潢業。生活中的石綿製品在多數的情況下

*為本文通訊作者

被牢牢的嵌在膠結物中如常見的石綿水泥瓦，除非被動力機械或強力破壞，比較不容易產生危害。然而當石綿製品破損、腐朽，其內的石綿纖維可能逸散出來，飄在空氣中，需要精密的採樣及分析才可辨識出來。隨著都市更新的進行，以往大量使用的各種石綿建材若未妥善管理及處置，此種致命粉塵則可能危及台灣人民與下一代的健康。為提升全民對石綿的科學知識，本文由石綿的礦物特性開始，並針對石綿危害的健康做介紹。

貳、石綿簡介

「石綿」是天然的纖維結晶狀的礦物總稱[Klein and Hurlbut, 1993]。由於石綿的纖維柔軟，且保有矽酸鹽類礦物的特性，其絕緣、絕熱、隔音、耐高溫、耐酸鹼、耐腐蝕和耐磨，加上價格便宜，常常用於建築材料和工業設施中：例如耐火的石綿紡織品、輸水管、絕緣隔熱板、石綿水泥製品、鋼骨結構外層噴鍍防火材、煞車來令片、船舶或工廠鍋爐及管線包覆的保溫隔熱綿及絕熱 (insulation) 材料等等。

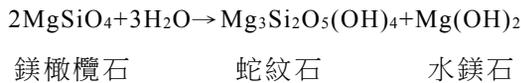
石綿依據礦物組成大致可分「蛇紋石族 (Serpentine Group)」和「角閃石族 (Amphiboles group)」兩大類(圖 1) [Klein and Hurlbut, 1993 ; Sporn, 2014] :

| | | | |
|--------------------------|--------------------------------|----------|------------------------------------------|
| 蛇紋石族 Serpentine group | Chrysotile (White Asbestos) | 溫石綿/白石綿 | $Mg_3(Si_2O_5)(OH)_4$ |
| | Amosite (Brown Asbestos) | 鐵石綿/褐石綿 | $Fe_7Si_8O_{22}(OH)_2$ |
| | Crocidolite (Blue Asbestos) | 鈉閃石綿/青石綿 | $Na_2Fe_2^{+3}Fe_3^{+2}Si_8O_{22}(OH)_2$ |
| 角閃石族 Amphibole group | Actinolite | 陽起石 | $Ca_2(Mg, Fe)_5(Si_8O_{22})(OH)_2$ |
| | Tremolite | 透閃石綿 | $Ca_2Mg_5Si_8O_{22}(OH)_2$ |
| | Anthophyllite | 斜方角閃石綿 | $(Mg, Fe)_7Si_8O_{22}(OH)_2$ |

圖 1、石綿族礦物與成分

一、蛇紋石族---溫石綿 (Chrysotile)

溫石綿又稱為白石綿 (white asbestos)，是蛇紋石的變種 (modulation)。而蛇紋石是由含鎂的矽酸鹽類礦物如橄欖石、輝石和角閃石轉化而來。橄欖石轉變為蛇紋石的公式如下：



由於橄欖石富存於地函，同時也是岩漿結晶時最早形成的礦物之一，因而基性或超基性的火成岩中常含有橄欖石。海洋地殼主要由基性火成岩所組成，其底部的主要岩類就是橄欖石，這些橄欖石只要與水反應，即可形成蛇紋石。由此則不難想像為何全世界的蛇紋石分布極廣。因此，最能商業化大量開採的石綿就屬蛇紋石族的溫石綿。據估計，95%的石綿製品都是使用溫石綿。俄羅斯烏拉山脈東邊的礦場是全世界最早大規模商業開採溫石綿的地方 [Klein and Hurlbut, 1993 ; Schütz et al., 2013.]，加拿大的魁北克省亦曾大規模開採溫石綿。然而石綿被證實為致癌物後，加拿大政府於 2012 年宣布封礦，2018 年底才全面停止開採溫石綿。如今中國是世界上第二大量產石綿的國家（僅次於俄羅斯 [王榮德等, 2017]）。

在顯微鏡底下常可見溫石綿呈現捲曲狀 (圖 2)，這是由於其晶體內部的矽酸鹽四面體 (SiO₄⁴⁺) 和八面體的水鎂石層 (Mg(OH)₆) 間存在小規模的不吻合 (即缺

陷)，(Mg(OH)₆) 八面體的稜邊間距略大於 SiO₄⁴⁺ 層片頂點氧之間距，這種不吻合需藉由結構層之間的彎曲來調整，因而使之呈現捲曲狀 (圖 3)。

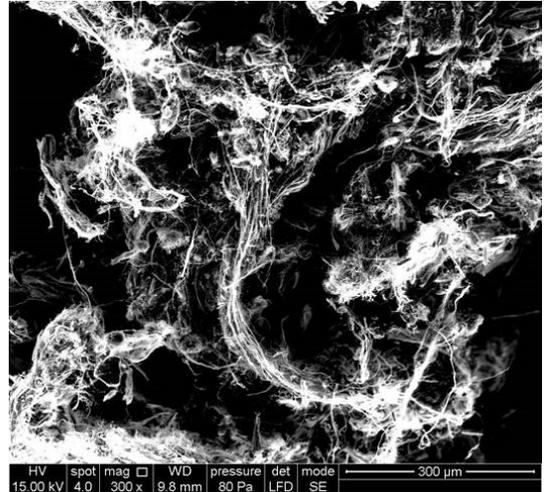


圖 2、電子顯微鏡下的溫石綿呈現捲曲的外型 (樣本為加拿大魁北克省產的溫石綿)。

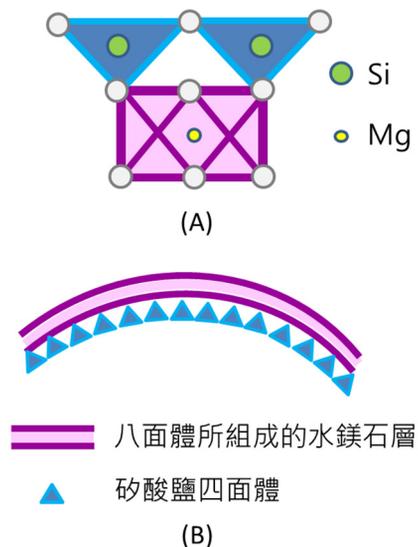


圖 3、(A) 溫石綿晶體結構示意圖
(B) 水鎂石層和矽氧四面體間的微小不吻合造成彎曲的構造。

二、角閃石族石綿

另一大類石綿則來自於「角閃石族」。其結構是雙鍊的矽氧四面體帶有結晶水。角閃石族的礦物化學成分可由通式 $W_{0-1}X_2Y_3Z_8O_{22}(OH,F)_2$ 表示之。W 為 Na^+ 或 K^+ ，X 和 Y 則為主要的陽離子，X 可以是 Ca^{2+} 、 Na^+ 、 Mn^{2+} 、 Fe^{2+} 、 Mg^{2+} 或 Li^+ ；Y 則可以是 Mn^{2+} 、 Fe^{2+} 、 Mg^{2+} 、 Fe^{3+} 、 Al^{3+} 和 Ti^{4+} ；Z 為雙鍊矽氧四面體中 Si 的位置，有時候會被部分的 Al 取代；結晶水 OH^- 的位置同樣有時也會被 F 所取代。在此複雜的成分下，以不同比例陽離子所組成的角閃石類礦物有不同的名稱。如圖 4 所示： $Mg_7Si_8O_{22}(OH)_2$ 、 $Fe_7Si_8O_{22}(OH)_2$ 、 $Ca_7Si_8O_{22}(OH)_2$ 分別代表角閃石的三個端成分，陽離子全由鎂所組成的稱為斜方角閃石 (Anthophyllite)；陽離子全由鐵組成的即鐵閃石 (Grunerite)，因真實自然界並不存在陽離子全由鈣所組成的角閃石，其僅為假想的端成分。其中陽離子為鈣鎂混合者稱為透閃石 (Tremolite)，而若加入鐵的成分則為陽起石 (Actinolite)。陽離子含

鈉的則可成為藍閃石 (Glaucophane) 或鐵鈉閃石 (Riebeckite)。

角閃石類礦物由高溫冷卻結晶時，很容易因為不互溶的陽離子大小差異過大，在冷卻的過程中發生離析作用 (exsolution)：在高溫下，矽酸鹽結晶格子能容許大小差異極大的兩種不同陽離子共存於晶體內，但當溫度下降，該結晶格子內大小差異極大的不同種陽離子倘若隨機分布就會產生結構內應力，而驅使同種類陽離子擴散至彼此接近的矽酸鹽礦物陽離子位置。對於角閃石類礦物而言，此種離析的薄層常平行於 c 軸，且薄層彼此間，晶體結構堆疊的方位不同，各自是非常微小晶域(次顆粒)，顆粒間的介面倘若沿著 c 軸延伸即為晶體線性的缺陷。有些時候，鍊狀排列的矽酸鹽在冷卻時，也可能產生堆疊的錯位，造成某些角閃石具有發達的解理。倘若這些節理延伸至整個晶體，使得這些如同髮絲、長寬比差異極大的晶體可以輕易地由原礦剝離，且本身又可再裂解為更細小的絲狀強韌晶體，即為石綿 (圖 5)。

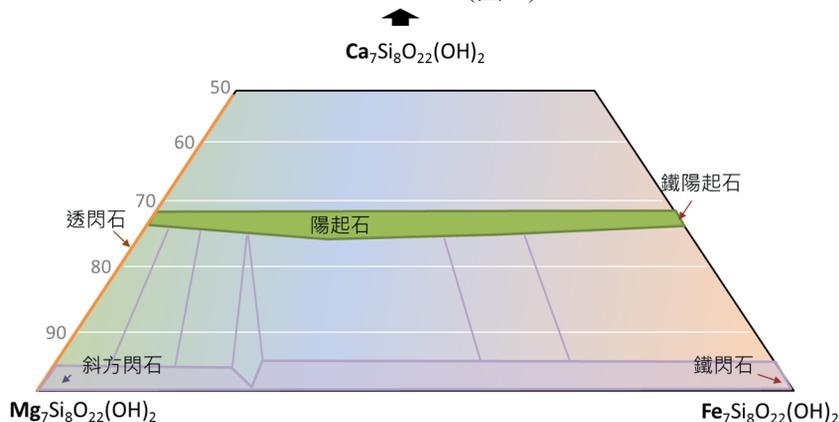


圖 4、以 $Mg_7Si_8O_{22}(OH)_2$ 、 $Fe_7Si_8O_{22}(OH)_2$ 、 $Ca_7Si_8O_{22}(OH)_2$ 為端成分的角閃石族礦物成分分布。



圖 5、綠色的晶體為角閃石族的陽起石，微鏡頭放大下可以看到其發達的解理。紅色箭頭所指的是發育中的石綿。

「角閃石族」的石綿主要包含以下五類：鐵閃石綿 (Amosite)、鈉閃石綿 (Crocidolite)、陽起石石綿 (Actinolite)、透閃石石綿 (Tremolite)與斜方角閃石石綿 (Anthophyllite)。其中僅鐵閃石綿 (俗稱褐石綿, brown asbestos)與鈉閃石綿 (俗稱青石綿, blue asbestos)有較大的礦床且被商業化開採。

過去鐵閃石綿最大的礦床位於南非特蘭斯瓦省 (Transvaal Province)，鐵閃石綿 (Amosite) 即是從南非石綿礦公司縮寫 (AMOS) 轉變而來 [Klein and Hurlbut, 1993]。而青石綿主要礦產位於南非的開普省 (Cape town)與西澳的哈麥斯利嶺 (Hamersley Range)，皆與前寒武紀的縞狀鐵礦層共生，西澳哈麥斯利嶺於 1966 年已停止開採。

台灣於日治時代至 1985 年在花蓮豐

田一帶曾開採過石綿，這些石綿礦常生長於蛇紋岩與石墨質絹雲母石英片岩的接觸帶，同時伴生角閃玉 (豐田玉、台灣玉)與透閃石 (嚴選硬度佳的部分順著纖維走向琢磨，使光線聚於一束可磨成貓眼石)。因為此地同時有蛇紋石與角閃石共存，故所生產的石綿同時含有白石綿與角閃族石綿 (圖 6)。台灣雖然曾開採過石綿，但產量均不大，大多數的石綿仍以進口為主。

而另一種較不常見的石綿是沸石類的毛沸石 (Erionite)，其同樣具有纖維狀的外觀，也被國際癌症研究署 (International Agency for Research on Cancer, IARC)歸類為一級人類致癌物質。在土耳其鄉間，毛沸石被用於房屋建材，曾暴露的人群罹患石綿相關癌症的風險增高。唯因其非常罕見，故討論較少。

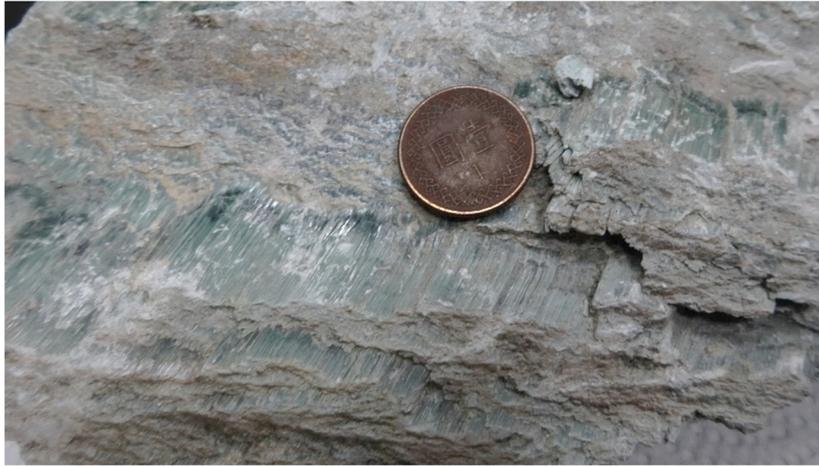


圖 6、台灣花蓮豐田石綿礦石近照 (譚立平教授捐贈之台大地質系館藏)。

參、以光學顯微鏡鑑定石綿

光學顯微鏡中的偏光顯微鏡 (polarized light microscope) 是傳統用來鑑定石綿的利器，能鑑定 $>0.3 \mu\text{m}$ 的石綿 (視顯微鏡配備而異)。若石綿小於光學顯微鏡的解析度，則還是得依賴更高倍率的電子顯微鏡。因蛇紋石族的溫石綿呈現柔軟的捲曲狀 (圖 7)，而角閃石族的石綿是直針

狀 (圖 8)，藉由光學顯微鏡可以很容易地藉由外型來區分溫石綿與角閃族石綿。其餘角閃石族的石綿則須依靠多色性、雙折射、消光性、及使用色散染色之光學性質才能做出區分。鑑定細節請詳見環保署公布之《含石綿物質及廢棄物中之石綿檢測方法 <https://www.epa.gov.tw/nica/E92BA68441B30980>》。

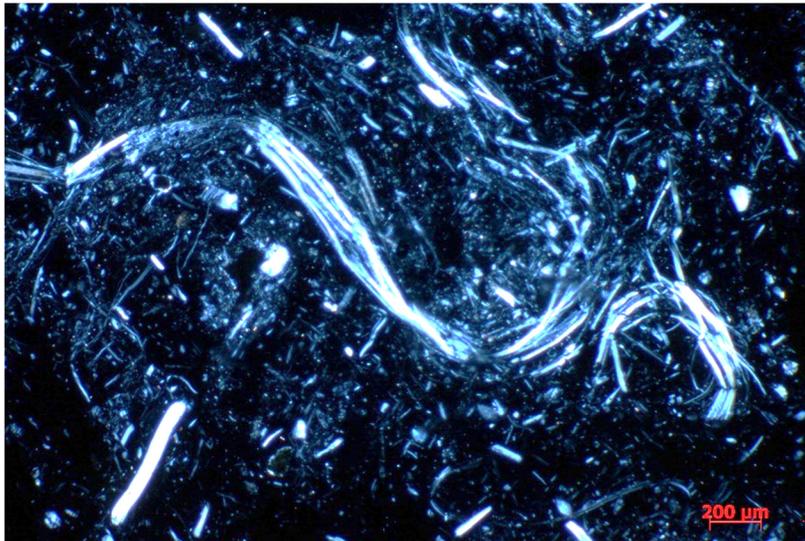


圖 7、光學顯微鏡底下的溫石綿。

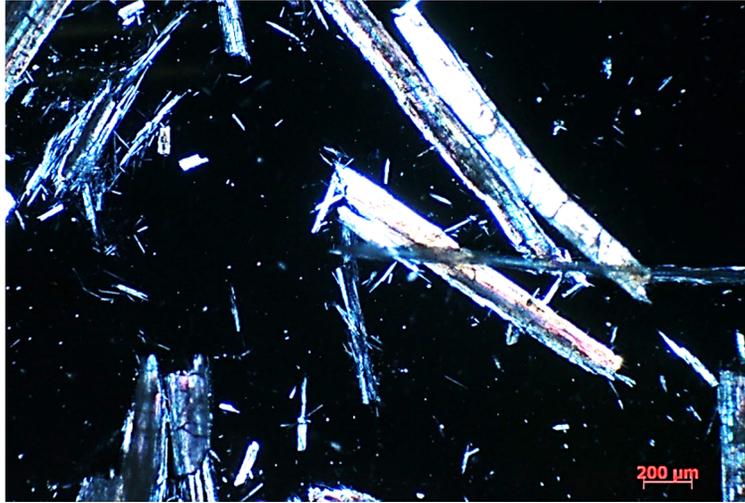


圖 8、光學顯微鏡底下漸變為石綿的陽起石。

肆、掃描式電子顯微鏡下的石綿

掃描式電子顯微鏡 (Scanning Electron Microscope, SEM) 搭載能量頻譜分析儀 (Energy-Dispersive Spectrometry, EDS) 可以將微小的物體放大至上萬倍，並可藉由電子束撞擊樣本，偵測樣本釋放的

特性 X 光能量鑑定樣本所含的元素。

由掃描式電子顯微鏡影像可以清楚的看到繩狀的石綿纖維由無數細小且捲曲的溫石綿所組成 (圖 9)。石綿瓦樣本則是以角閃石族的石綿為主，可以看到短針狀的石綿纖維密布其上 (圖 10)。

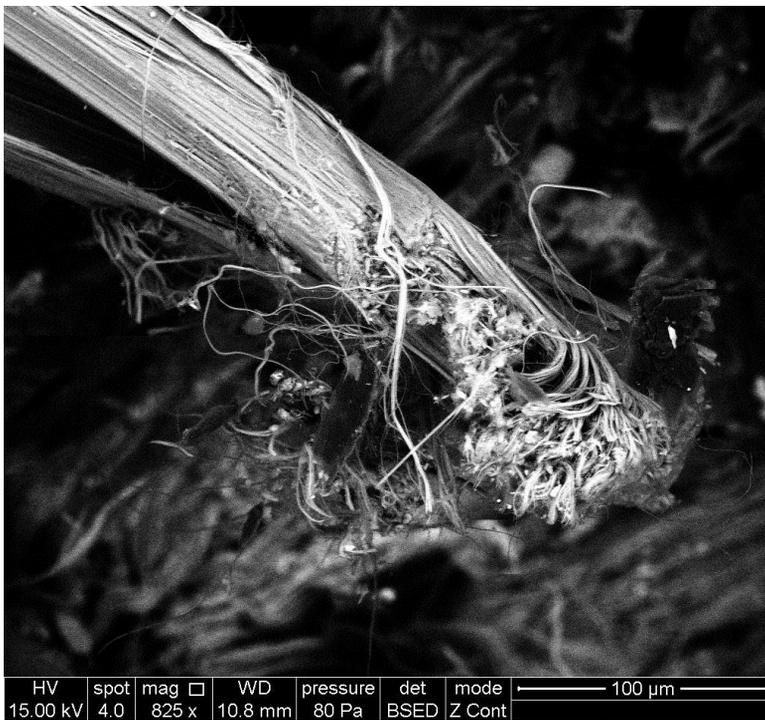


圖 9、掃描式電子顯微鏡底下由溫石綿所組成的石綿繩影像。

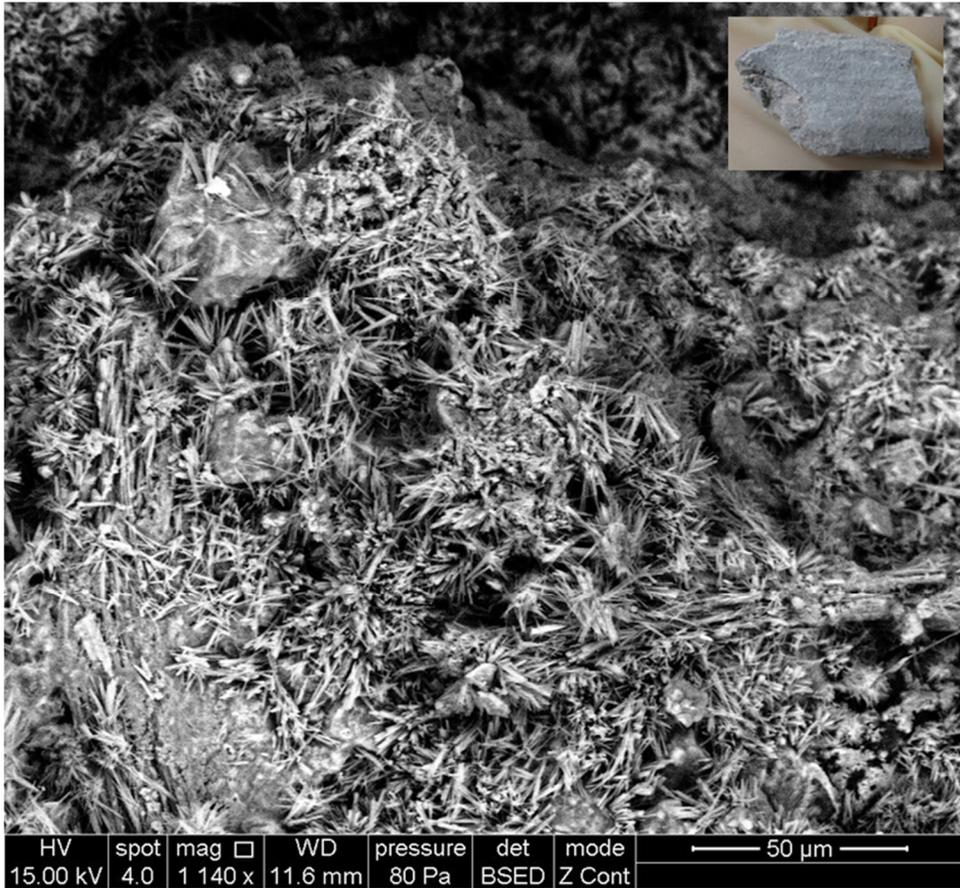


圖 10. 掃描式電子顯微鏡底下由角閃石族石綿所組成的石綿瓦影像 (右上角為分析的樣本照片)

尚未風化的陽起石樣本是深綠色具光澤的塊體，而當其風化則外觀出現白色粉碎的外型 (圖 11A)，於掃描式電子顯微鏡同樣也可以看到未風化的陽起石為塊狀 (圖 11B)，而風化部位則開始出現針狀石綿且因為節理而破碎凌亂散布原岩之上 (圖 12)。琢磨貓眼玉的原礦是由質地堅硬、整齊排列的絲狀透閃石所組成，透過琢磨讓光線藉由一絲絲的透閃石聚集到一條線上、造成貓眼的效果。質地不佳的含透閃石 (琢磨貓眼石剩下的材料) 即可看到一些長而細的纖維錯列其上 (圖 13)。

掃描式電子顯微鏡底下，原本外觀相近的隔板建材在放大數百倍後，各自呈現不同的外觀。可以發現這些隔板基本上都是以膠結物所組成，有的密布石綿纖維、有的則是超級細長的玻璃纖維 (圖 14A)，也有完全不含石綿者 (圖 14B)。在一般情況下，這些含石綿纖維的建材因為與膠結物緊密結合，且外層有塗料保護，屬於不易粉碎 (non-friable) 的石綿產品。但當這些建材腐朽、破損，或因建築物裝修、改建而需切割含石綿建材，那麼飛散出來的石綿纖維將是問題所在。

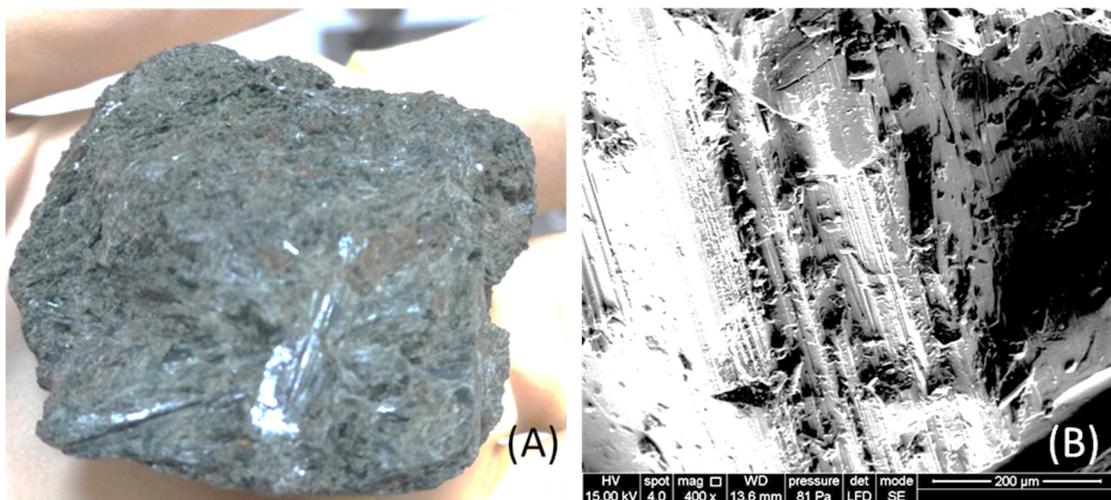


圖 11、(A)未風化的陽起石標本 (B)未風化的陽起石之掃描式電子顯微鏡影像

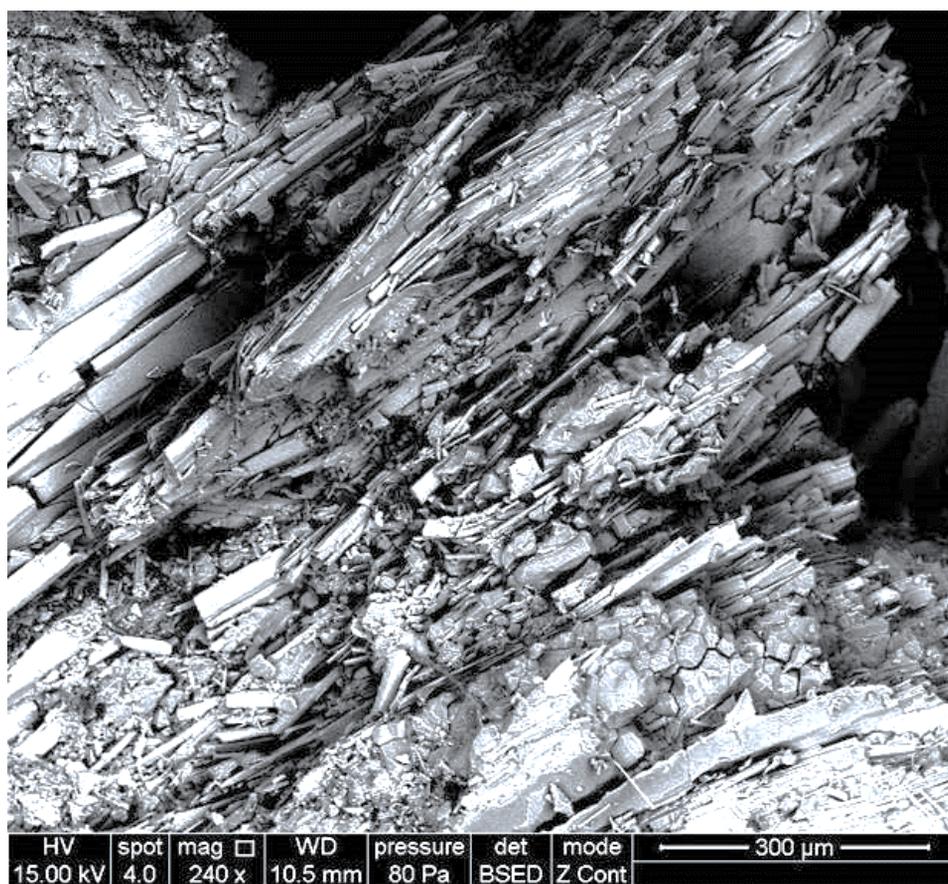


圖 12、掃描式電子顯微鏡影像下風化的陽起石節理發達，晶體凌亂。

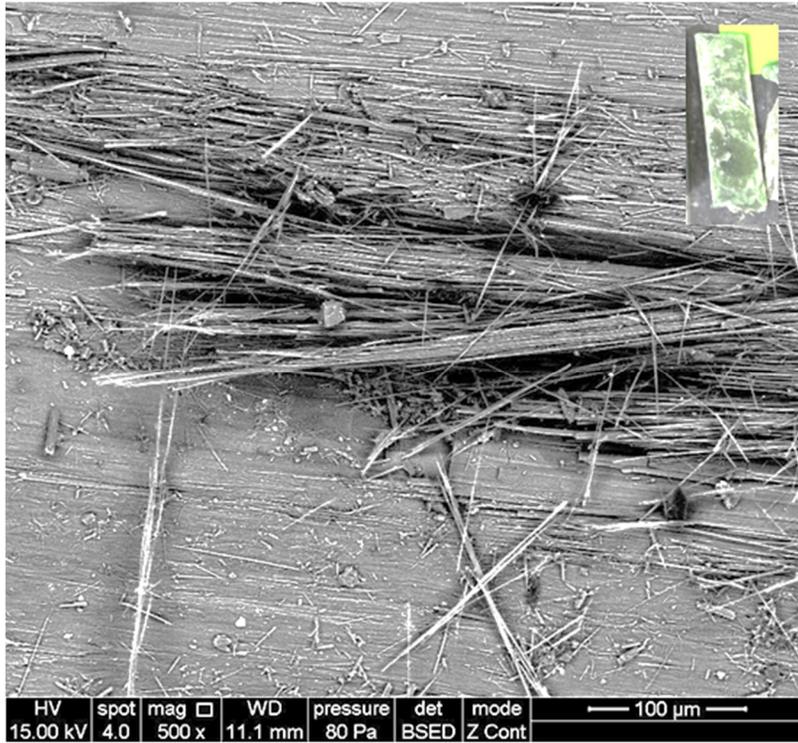


圖 13、掃描式電子顯微鏡影像下質地不佳的透閃石(琢磨貓眼石剩下的材料)。

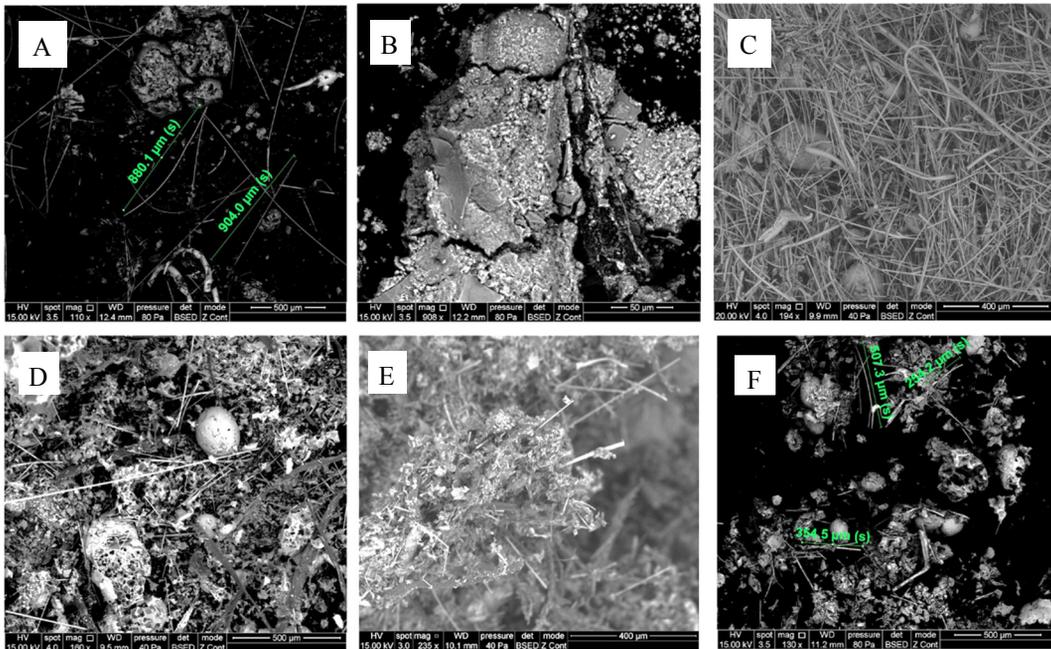


圖 14、外觀相似的隔板建材在掃描式電子顯微鏡下的影像：(A) 玻璃纖維混膠結物的隔板 (B) 矽酸鈣(不含石綿)的隔板 (C) 幾乎全由石綿組成的隔板 (D)(E)(F) 石綿混膠結物的隔板(針狀物質為石綿，塊狀物質為膠結物)。

伍、在石綿暴露相關疾病患者的組織病理中發現石綿

我們研究團隊近來診治一位石綿相關肺癌及惡性間皮瘤的指標個案 [李俊賢等, 2018]，這位 71 歲女性患者因咳嗽有血絲，到醫院就診，發現右上肺有腫瘤，轉介給職業環境醫學科，醫師詢問出她在年輕時曾經短暫在建築工地做雜工，當時暴露到大量的防火隔熱纖維。因在工作場所暴露石綿而懷疑與其癌症有相關，進一步請病理科醫師在光學顯微鏡底下仔細觀察，就在其肺臟組織發現石綿小體 (asbestos body)，並在其縱隔腔淋巴結 (mediastinal lymph nodes) 發現惡性間皮瘤，淋巴結的病理切片可發現石綿纖維。因石綿為外來物質，人體免疫機制會想辦法想清除這些外來物，然而石綿纖維無法被其有效分解，故可見許多巨噬細胞將石綿纖維團團包圍 (<https://www.archive.sofpathology.org/doi/full/10.1043/1543-2165-134.3.462>)，形成石綿小體 (圖 15)，可客觀佐證石綿暴露。

難以清除的石綿纖維會引發反覆的發炎反應，釋放出過氧化物、自由基，持續誘發慢性發炎、纖維化、進而成為癌症的肇因。肺癌病人的肺部組織有石綿纖維的證據，可經過低溫灰化等適當處理後，利用電子顯微鏡辨識。從上述的癌症病人具體中，同時發現了肺腺癌及惡性間皮瘤，而發生惡性間皮瘤的淋巴結內的石綿纖維數量遠多於肺部 [李俊賢等, 2018; Dodson, 2005]，可由掃描式電子顯微鏡 (SEM) 清楚看到 (圖 16)，淋巴於身體內扮演類似垃圾集中場的角色，身體內的外來物會被巨噬細胞堆放到淋巴節附近進行分解。這些石綿纖維長度大約在 400nm (奈米級) 左右。由於掃描式電子顯微鏡的射束 (beam) 範圍約在 $1\ \mu\text{m}$ (微米級) 以下，在人體內出現的石綿纖維長度約僅數十至數百奈米，因此目前國內實驗室要分析人體中的石綿纖維的元素成分仍有困難，需要有更多資源投入並與國際認證實驗室合作，以尋求正確診斷石綿相關癌症的實證研究上的突破。

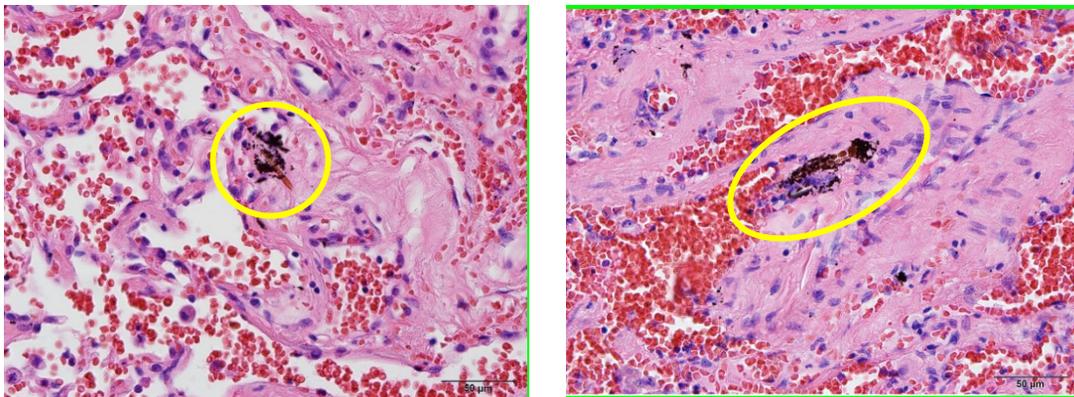


圖 15、肺癌組織旁肺纖維化區域中可發現許多石綿小體 (asbestos body) [李俊賢等, 2018]

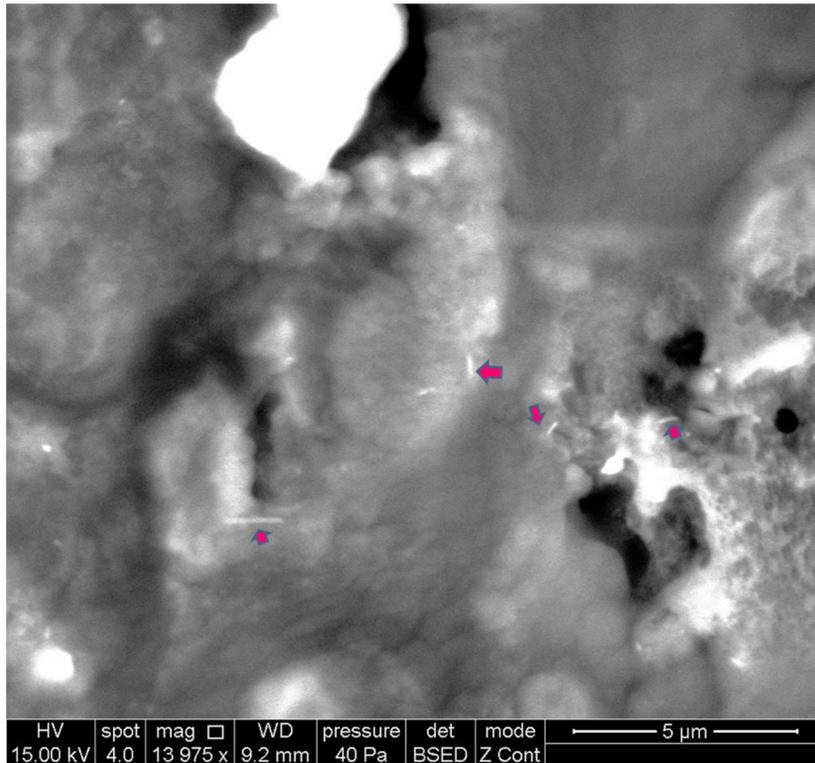


圖 16、發生惡性間皮瘤的淋巴節內的呈針狀的石綿纖維，大多<400nm (0.4μm)。

陸、以 X 光繞射分析鑑定石綿種類

因晶體為有序的原子排列，當 X 光照射晶體時，X 光會被晶面反射，此種反射如同鏡面般入射角等於反射角，並在特定散射角下，相鄰晶面散射的波峰會因彼此相位相同，且光程差為波長的整數倍，產生建設性干涉，滿足此條件便可產生繞射，此關係稱為布拉格定律

$$2d_{hkl} \sin \theta = n \lambda$$

不同晶體結構的晶面間距 d_{hkl} 會不同，因此會有不同組合的繞射角 $\{2\theta_{hkl}\}$ 。因為晶胞的形狀、大小、對稱性不同，消光能力也不同，晶胞內原子組成不同，對

X 光的繞射能力也不同，所以就算是相同的結構也會產生不同的繞射強度。因此可以從散射的 X 光頻譜(繞射峰的位置)和繞射峰的強度來得知晶體內部組成和原子的種類。

藉由國家同步輻射中心的 X 光繞射分析儀可以清楚的看到屬於蛇紋石族的溫石綿 2θ 的尖峰(peak)與角閃石族的石綿針不同(圖 17)。同步輻射中心因為其繞射光能量遠較一般室內 X 光能量還要強，因此能讓每一支尖峰更集中、清晰，更能挑出建材中混合其他膠結物晶體(如方解石、石英、石膏)含量極少的石綿纖維。

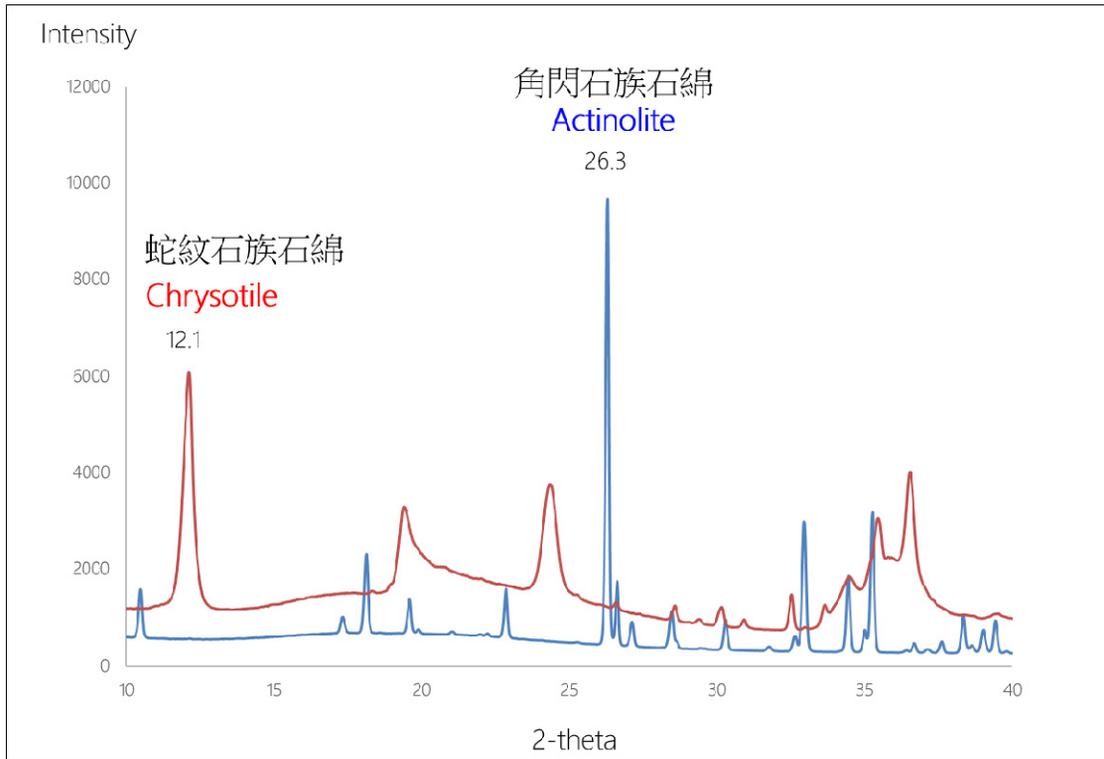


圖 17、溫石綿與角閃石族石綿的同步輻射的 X 光繞射圖譜。

柒、石綿危機現況

早在 1970 年代石綿就已經被國際癌症研究署列為確定致癌物[IARC, 2012]，石綿纖維可引起肺纖維化，增加癌症風險，包括惡性間皮瘤、肺癌、喉癌、卵巢癌、及胃癌。歐美國家及日本[Kumatani, and Kumagai, 2008]、韓國 [Kang et al., 2009] 已有不少從事石綿相關工作者罹患石綿相關疾病，甚至石綿工廠附近的居民因石綿而罹癌提出集體訴訟，如義大利石綿水泥廠、日本泉南地區的小型石綿紡織廠 [王榮德等, 2017]，因為石綿致癌潛伏期長達 10 年甚至 50 年，加上來自環境的微量之

暴露，往往不容易回溯到確實的源頭。人體有正常的防衛解毒機轉，因此並非曾接觸石綿就必然罹癌。但的確有一些因石綿而罹癌（惡性間皮瘤）的患者難以追蹤究竟何時何地暴露到石綿纖維。

鑑於石綿的高度致癌性，歐盟國家已在 2005 年全面禁用石綿製品，日本與南韓則分別於 2006 與 2009 年全面禁用；至 2018 年，全球已有 60 多個國家全面禁採、禁用石綿。與其他國家相比，台灣對於石綿的管制依然寬鬆。台灣的石綿使用大多仰賴進口，環保署 1989 將石綿公告為《毒性化學物質管理法》列管的毒性化學物質，並禁止石綿使用於新換裝的飲用水管及其

配件；1997年，政府禁止製造、輸入、販賣及使用青石綿紡織品(仍有進口)及褐石綿(而使用量最大的白石綿不在此列)。2012年才開始禁止石綿用於擠出成形水泥複合材中空板及建材填縫帶的製造；2013年禁止石綿用於石綿瓦的生產；到2018年初才將禁止石綿用於剎車來令片。

雖然環保署已經訂出石綿的退場機制，但台灣的建築環境仍隨處可見石綿，過去大量使用的石綿瓦、隔間板等建材仍無所不在。因石綿建材屬於人民財產，加上缺乏現存的石綿建材的清查和管理，使得所制定的「建築物拆除施工規範」很可能淪為一紙毫無落實能力的條文。讓許多建築業、裝潢業、拆除業勞工，甚至一般大眾陷於石綿暴露的風險，另一方面建築廢棄物的石綿暴露也未有積極管理，是環境污染的一大潛在來源。反觀日本、韓國、德國與其他先進國家，對於既有建築物進行石綿監測，並對有潛在危害的房屋建立登記系統，非常值得台灣借鏡學習。

另外，雖然現已禁止石綿原料進口，然而從國外進口的建材，如矽酸鈣板、水泥板與其他產品是否含有潛在石綿，是先進國家進口檢驗部門的稽查重點。目前自中國進口的建材充斥台灣市場，但合成建材是否含有石綿，政府相關主管機關仍未重視。雖然標準檢驗局公布2007年之後進口管制及建築板材石綿抽驗成果，結果全都是零檢出，但與市面上實際石綿建材仍然可經由貿易商進口的情形有落差。

捌、建議

1. 雖然石綿屬於一級致癌物，但當其仍封固於石綿膠結物中，無逸散風險即毋須過度恐慌。若發現有可疑的石綿製品有腐朽、破損情況，則可能有石綿纖維逸散的風險。石綿製品破損情況不嚴重，可戴手套先用膠帶將破損處封住，用雙層厚的塑膠袋加以密封住，再委託專責的環保公司處理(詳見：環保署含石綿廢棄物之清理機構清單)。
2. 建議政府主管機關盡速建立專責的石綿事業採樣及分析檢驗機構。經濟部標準檢驗局於2012年公布CNS 15546「建築材料中石綿含量試驗法」國家標準。根據環保署的環境檢驗所查詢相關的環境檢驗測定機構，目前僅有2家檢驗機構可供民眾將可疑石綿樣本送驗；但是如何安全的採樣及保護工人或鄰近民眾的健康之相關法律規範仍付之闕如。
3. 對於過去從事與石綿相關行業的高危險群人員(例如：專職剎車來令的汽修廠員工、裝潢業或拆除建築物工人、船舶製造維修、工廠絕熱保溫施工人員、磨貓眼石之技工…)建議納入長期健康管理追蹤及慢性病篩檢的機制。並協助已發病者，為其爭取應有之職業災害補償的權益。
4. 對於建材進口應更詳盡確實的檢驗是否含有石綿，全面禁止石綿製品進口。

5. 應效法日本、韓國、德國與其他先進國家，對於既有建築物進行石綿監測，並對有潛在危害的房屋建立登記系統。對於石綿建材拆除應不只有規範，更應使之落實、保障勞工安全。
6. 應加強全民教育宣導，提升民眾對石綿危害之認知。

參考文獻

- 李俊賢、蕭汎如、鄭雅文、王榮德 (2016): 石綿的健康危害與台灣現況。 *勞動者雜誌*; 187 期 (2016/02/02)。
- 王榮德、李俊賢、林良榮、彭保羅、黃怡翎、鄭雅文、蕭汎如、戴國耀、鍾佩樺 (2017): 致命粉塵: 石綿疾病, 工業發展史中的職業病風暴. **Deadly Dust: Asbestos-related diseases, a major occupational disease epidemic in the history of industrialization**(初版)。台灣: 社團法人台灣職業安全健康連線。
- 李俊賢、王榮德、鄭雅文 (2018): 石綿暴露作業勞工之職業病追蹤調查 **Investigation and follow-up study of occupational diseases of workers exposed to asbestos**。勞動部勞動及職業安全衛生研究所期末報告。
- 施聿芃、鄭雅文、李俊賢 (2019): 台灣全面禁用石綿了嗎? 從石綿產品的進口量看可能的管制漏洞。 *台灣公共衛生雜誌*; 38 卷 2 期 (2019/04/01), P115 - 117. DOI:10.6288/TJPH.201904_38(2).108008.
- Dodson RF. (2017). *Analysis and Relevance of Asbestos Burden in Tissue: Asbestos-risk assessment, epidemiology, and health effects*. Boca Raton, FL: Taylor & Francis. <http://www.crcpress.com/Asbestos-Risk-Assessment-Epidemiology-and-Health-Effects-Second-Edition/Dodson-Hammar/p/book/9781138076709> [accessed 17 May 2019]
- Hsaio FJ, Chen CY, Lee LJH, Cheng Y. (2018). Occupational health examination of asbestos-exposed workers: viewpoints of occupational health physicians. *Taiwan Journal of Public Health*, 37(1),24-33.
- IARC (2012). Arsenic, metals, fibres, and dusts. IARC monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans. World Health Organization, International Agency for Research on Cancer, 100(Pt C):11-465.
- Kang DM, Gu DC, Kim KH (2009). Asbestos-related diseases among asbestos textile factory workers and residents around the factory. *Journal of the Korean Medical Association*.52:482-488.
- Klein C, Hurlbut CS. Jr, (1993) Manual of mineralogy (After James D. Dana), 21st edn, Wiley, New York. ISBN-13: 978-0471312666
- Kumatani, N. Kumagai S. (2008). Mapping the risk of mesothelioma due to neighborhood asbestos exposure, *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*, 178 (6), 624-629.
- Lee LJH, Lin CK, Pan CH, Cheng Y, Chang YY, Liou SH, Wang JD. (2018). Clustering of malignant pleural mesothelioma in asbestos factories: a subgroup analysis in a 29-years follow-up study to identify high-risk industries in Taiwan. *BMJ Open*, 8(12):e021063.
- Lin RT, Chang YY, Wang JD, Lee LJH. (2018). Upcoming epidemic of asbestos-related malignant pleural mesothelioma in Taiwan: a prediction of incidence in the next 30 years. *Journal of the Formosan Medical Association*, 118(1 part3),463-470.
- Schüz J, Schonfeld SJ, Kromhout H, Straif K, Kashanskiy SV, Kovalevskiy EV, Bukhtiyarov IV, McCormack V. (2013). A retrospective cohort study of cancer mortality in employees of a Russian chrysotile asbestos mine and mills: study rationale and key

- features. *Cancer Epidemiology* 37(4):440-445.
- Sporn TA (2014). *The Mineralogy of Asbestos : Pathology of Asbestos-Associated Diseases.* Berlin, Heidelberg: Springer.
- Wu TH, Lee LJH, Yuan CT, Chen TW, Yang JC. (2018). Prognostic factors and treatment outcomes of malignant pleural mesothelioma in Eastern Asian patients – A Taiwanese study. *Journal of the Formosan Medical Association*, 118(1 part2),230-226.

實用資訊

看不見的石綿危機】紀錄片，石綿資訊專

- 區，取自
<https://sites.google.com/site/ntpcasbestos/home>
<https://www.thenewslens.com/article/74770>
- 石綿危害資訊網，取自
<http://flora2.epa.gov.tw/ToxicC/Epa/Asbestos/Index.aspx>
- 含石綿物質及廢棄物中之石綿檢測方法，取自
<http://www.niea.gov.tw/niea/REFUSE/R40122C.htm>
- 環保署含石綿廢棄物之清理機構清單，取自
<http://www.epa.gov.tw/ct.asp?xItem=55165&ctNode=35207&mp=abtos>