

行政院勞工委員會採樣分析建議方法

方法編號：CLA2318（等級B）	審查日期：97年2月15日
化合物中文名：石綿及其他纖維	化合物英文名：Asbestos and other fibers by PCM
容許濃度：見表1	參考資料：NIOSH 7400 (8/15/1994)
基本物性：纖維狀固體、結晶狀、異向的(非均質的)	分子式：依化合物之不同而不同
	分子量：依化合物之不同而不同
	RTECS：依化合物之不同而不同
	別名：依化合物之不同而不同；見表2

採樣	分 析
採樣介質：具導電石綿濾紙匣(詳見圖 1)內裝直徑 25 mm 纖維素酯濾紙(0.45~1.20 μm)，含墊片 流 率：0.5~16.0 L/min 採樣體積：最小：400 L @ 0.1 f/cc 最大：預估濾紙上纖維密度 100~1300 f/mm²(見採樣步驟3) 樣品運送：緊密包裝，包裝材質應防靜電產生，採樣面向上，避免碰撞 樣品穩定性：穩定，可長時間儲存 現場空白樣本：每批樣本數的10%，至少需二個以上	方 法：位相差顯微鏡法 分 析 物：纖維(人工計數) 前 處 理：丙酮/三醋酸甘油酯(加熱裱數) 計數規則：詳見本文A規則 設 備：1.正位相差顯微鏡 2.Walton-Beckett計數板視野，G-22型(計數範圍100 μm) 3.HSE/NPL檢查玻片 校 正：HSE/NPL檢查玻片 範 圍：100 ~1300 f/mm²濾紙上纖維密度 可量化最低纖維密度(LOD)：7 f/mm²濾紙上纖維密度 分析變異係數(CV_a)：0.10~0.12[1](詳見步驟8方法評估)
準 確 度 [1]	
範圍：80~100 根纖維 偏差：見方法評估 總變異係數(CV_T)：0.115~0.130 準確度：見方法評估	
適用範圍[1]：本方法是以1000 L的空氣為樣本時，定量範圍為0.04至0.50 f/cc，可量化最低濃度隨採樣體積及所採集之粉塵量多寡而定，如沒有粉塵干擾，小於0.01 f/cc，此方法為判斷空氣中纖維量之指標，雖然位相差顯微鏡法無法鑑別石綿與其他纖維種類，但此方法仍為定量空氣中石綿濃度之主要方法，合併此方法與電子顯微鏡(NIOSH7402)法可以有助於鑑定纖維種類；此方法無法偵測直徑小於0.25 μm之纖維，如利用其他計數規則(B規則)，本方法可以用於其他纖維之計數，例如玻璃纖維 (詳見附錄C)。	
干 擾[1]：其他符合計數規則之粉塵或纖維皆會造成干擾，鏈狀粉塵可能被視為纖維。高濃度非纖維狀粉塵會干擾視野中的纖維，因而影響偵測極限。	

安全衛生注意事項[1]：1.石綿危害性分類為第9類其他危害物質。2.丙酮極易燃，不可有火花。加熱超過1 mL丙酮時需在無火燄且通風良好排煙櫃中進行。

其他方法：本方法取代NIOSH7400方法(5/15/1989 第3版)。

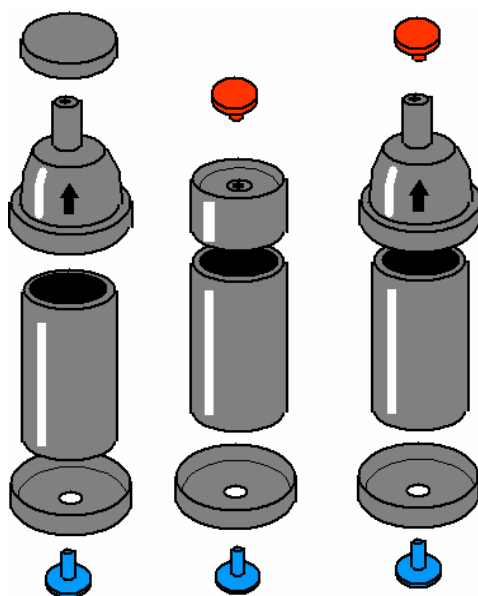


圖1 石綿採樣濾匣

1. 試藥

- 1.1 丙酮，試藥級。
- 1.2 三醋酸甘油酯，試藥級。

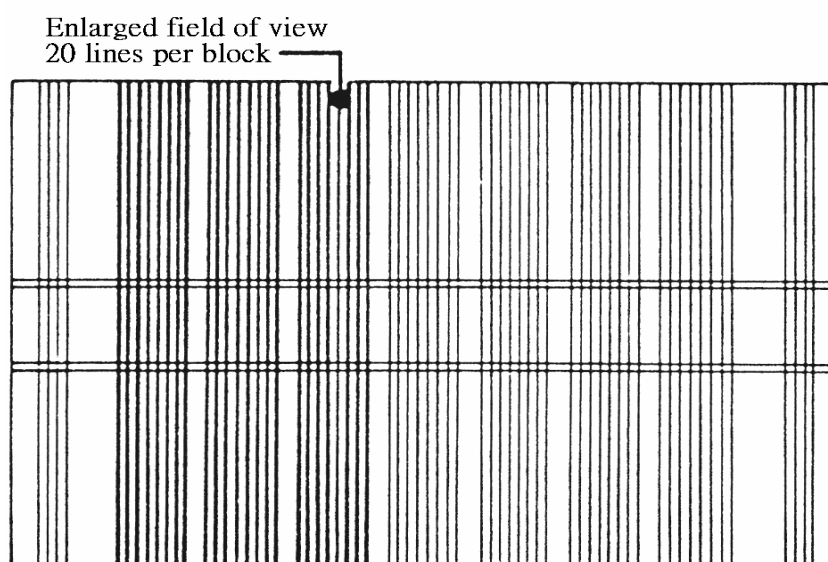
2. 設備

- 2.1 採樣器：直徑 25 mm，具長約 5 cm 導電性延伸管之三片式濾紙匣，內含纖維素酯濾紙及墊片，濾紙孔徑 0.45~1.20 μm 。必要時需使用 O 型環(O-ring)以固定濾紙匣。

備註：

- 1.實驗室空白濾紙：如果空白濾紙中鏡檢 100 個視野發現纖維數在 5 根以上，捨棄此批濾紙。
- 2.具導電性之濾紙匣可以減低採樣時之靜電影響，採樣時儘可能濾紙匣予以接地。
- 3.個人採樣時，以使用 0.8 μm 孔徑濾紙為主，0.45 μm 孔徑濾紙是供穿透式電子顯微鏡鏡檢分析用，個人採樣時採樣泵會產生背壓過高而不適用。
- 2.2 個人採樣泵：流率 0.5-16.0 L/min(見步驟 3)，包含可曲折性連接管。
- 2.3 附夾子之具導電性電線，連接濾紙匣接地用。
- 2.4 收縮膜。
- 2.5 載玻片：25 × 75 mm，預先洗淨之單邊磨砂玻璃片。
- 2.6 蓋玻片：22 × 22 mm，No.1-1/2 之玻璃片。
- 2.7 指甲油或透明漆。
- 2.8 切割刀，使用 #10 鋼質外科手術刀，刀片為彎曲形狀。
- 2.9 鑷子。
- 2.10 丙酮蒸發器：將丙酮汽化並可使濾紙透明化而裱敷固定於玻片。
- 2.11 注射針(5 mL)及微量吸管(10 mL)。

- 2.12 位相差顯微鏡：附有綠色或藍色濾光片，可調整光圈，接目鏡：8~10 倍，接物鏡：40~45 倍(總放大倍數：400 倍)，數位鏡直徑(numerical aperture)：0.65 至 0.75。
- 2.13 計數板視野(Graticule)：Walton-Beckett，具有直徑 100 μm 圓形視野面(面積約 0.00785 mm^2)，A 規則使用 G-22 型，B 規則使用 G-24 型，計數板視野是依個別位相差顯微鏡製作而成(詳見附錄 A)。
- 2.14 HSE/NPL 檢查玻片(Mark II)：標準之檢查玻片，檢視位相差顯微鏡之解析度及眼睛狀況，具有七組溝紋，詳見圖 2。



資料來源：Australian Government/Australian Safety and Compensation Council

圖 2 HSE/NPL Test Slide

- 2.15 位相環調整用望遠鏡(Telescope)。
- 2.16 平台微米計(stage micrometer)：每一刻度 0.01 mm。

3. 採樣

- 3.1 個人採樣系連結採樣器，進行流率校正，見「勞工作業環境空氣中有害物採樣分析建議方法通則篇」之採樣[2]。
- 3.2 個人採樣時需將採樣器固定在靠近工人衣領上，採開口式(open-face)進行採樣，即濾紙匣前方蓋子取下，採樣濾紙匣開口面向下，利用收縮帶密封使導電濾紙匣與濾紙匣底部不致分開。
- 備註：區域採樣時應將導電濾紙匣接地，特別是採樣地點相對濕度較低之場所，使用夾子可確保電線與導電濾紙匣連接在一起(設備 2.3)，電線另一端接地(例如接地金屬管)。
- 3.3 每次採樣至少準備 2 個現場空白樣本(若超過 2 個則準備樣本總數 10% 以上的空白樣本)。在採樣前將現場空白樣本與其他樣本之卡匣蓋子皆打開。在採樣期間，將空白樣本卡匣與蓋子貯存在乾淨之區域(密封袋或盒內)。
- 3.4 採樣泵流速 0.5 L/min 以上，為使濾紙達到適合計數之纖維密度(100~1300 f/ mm^2)，調整採樣流率及採樣時間，採樣時間預估公式如下：

$$t = \frac{A_c \times E}{Q \times C \times 10^3} \text{ min}$$

A_c ：濾紙有效收集面積，例如直徑 25 mm 濾紙，有效收集面積為 385 mm²。

E ：濾紙上纖維密度(f/mm²)，100~1300 f/mm²

Q ：採樣流率(L/min)

C ：纖維濃度(f/cc)

10^3 ：變換係數(1000 cc/L)

備註：

1.調整採樣時間是為了使濾紙上能有最適宜分析的纖維數量，在 0.5~16.0 L/min 的流率範圍內，捕集效率並未有明顯差異。當採樣場所有相當大直徑的纖維存在時(>3 μm)，則會有吸入量減少及堆積在濾紙匣入口的情形發生。假使非石綿粉塵數量很少的作業場所，現場纖維濃度約 0.1 f/cc，採樣流率設定在 1~4 L/min，則可進行 8 小時採樣。高粉塵場所需降低採樣體積(≤400 L)以獲得較佳計數樣本，縮短採樣時間並進行連續性多段採樣，其平均結果將超過單一時段連續採樣。短時間採樣應使用較高流率(7~16 L/min)。在較乾淨場所，石綿濃度<0.1 f/cc，則應採集較大的體積(3000~10000 L)以達到適宜分析的纖維數量，但仍需考量粉塵是否會造成濾紙負荷量過高的問題，假如濾紙表面有 50%以上被粉塵覆蓋，則濾紙的負荷量可能過高，造成石綿計數困難及計數濃度產生偏差。

2.OSHA 法令規定石綿最小採樣體積為 48 L，最大採樣流率為 2.5 L/min。

3.5 採樣完成後，蓋上開口蓋及塞子，將採樣濾紙匣置於堅固容器內，容器材質應防靜電產生，並以填充物加以固定，避免運送過程發生碰撞。

備註：為避免採樣濾紙上纖維因靜電而掉落，不可使用未經處理過之聚苯乙烯泡綿作為運送容器或容器內之填充物。

4. 樣品前處理

4.1 確定載玻片或蓋玻片不含灰塵或纖維。所有器具(如手術刀、鑷子、切割台等)亦應擦拭乾淨，避免沾上纖維。

4.2 丙酮蒸發器插電並打開電源加熱大約至 70°C，假如不在排煙櫃中使用丙酮蒸發器，必須將丙酮蒸發器置放在陶瓷板上並隔絕任何熱源可能產生的熱危害。

4.3 將濾紙置於乾淨切割台上，含塵面向上，使用邊緣彎曲之鋼質外科手術刀進行切割，切割時手應前後搖動避免濾紙破裂(勿以劃線方式切割，此易造成濾紙破裂)，而將濾紙切下約 1/4。

4.4 將切割下來的濾紙置於乾淨載玻片上，含塵面向上，通常靜電會使濾紙附著在玻片上。

4.5 將含有 1/4 面積濾紙的載玻片置於丙酮蒸發器的蒸氣出氣口正下方，以微量注射針吸取少量丙酮(約 0.25 mL)，再將丙酮注入加熱台內使丙酮產生汽化，約 3-5 秒便可將濾紙透明化並裱敷固定於玻片上，之後移去微量注射針及載玻片，須注意不可使濾紙產生扭曲或未完全透明。若濾紙無法產生透明化或製片失敗可重覆 4.3 至 4.5 之步驟。

備註：操作此步驟必須在通風良好之地點(如實驗室排煙櫃內)，且無明火或火花產生之慮，以避免人員中毒或爆炸。在通風不良場所連續經常使用此裝置，丙酮蒸氣濃度將可能達到爆炸下限。

4.6 使用 10 mL 微量吸管即抽取少許三醋酸甘油酯，滴一滴(約 100 μL)三醋酸甘油酯於玻片上，使玻片上之濾紙清晰，然後以微小角度(約 45°)蓋上蓋玻片，以避免氣

泡產生，放蓋玻片時避免力量太大及移位。三醋酸甘油酯不可過量，以免纖維隨之移動。

備註：假如有太多氣泡產生或三醋酸甘油酯的量不夠，會影響鏡檢結果。假如過量之三醋酸甘油酯殘留於蓋玻片下濾紙之邊緣，可能會發生纖維移動。

4.7 使用透明漆或指甲油將載玻片與蓋玻片固定。

備註：將玻片置於溫度約 50°C 之加熱板上，以加速濾紙清晰，約 15 分鐘後即可計數。若無加熱板，可以自然陰乾方式亮乾，約 30 分鐘後即可計數。小心地加熱以避免形成氣泡。

4.8 以有色之油性筆自載玻片背面將濾紙範圍標示出來以利計數。

備註：

1. 本方法目的是使樣本在折射率 1.46 以下之介質中產生平滑之鏡檢背景。利用丙酮蒸氣使濾紙透明化，之後裱敷固定於玻片上(可保存 1-10 年)，可使顯微鏡光線穿透濾紙，利於品管與實驗室間比對。鋁製丙酮蒸發器或其他快速蒸發技術亦可產生相同效果。其他裱敷技術若能符合上述標準亦可使用(例如，NIOSH 7400 5/15/1985 第 2 版或 P & CAM 239 之分析方法)。除非濾紙有效收集面積可得知，否則應量測濾紙有效收集面積及記錄相關資訊與濾紙編號。
 2. 含有過量水份的丙酮會減緩濾紙透明化，並使石綿自濾紙表面中被沖刷出來，又濾紙暴露於高濕度下，透明化後濾紙會產生細紋。
- #### 5. 顯微鏡之校正及品管

5.1 顯微鏡之校正：顯微鏡每次使用前應使用吹球清除接目鏡、接物鏡及光圈上之粉塵，必要時使用拭鏡紙沾酒精擦拭接目鏡、接物鏡及光圈清潔。打開電源開關鈕，然後依照廠商提供之說明書進行校正(調焦)工作。調焦完成後再利用廠商提供之望遠鏡(Telescope)調整位相環，使明環及暗環重疊成同心圓。每一台顯微鏡皆必須有一本記錄簿以登錄清潔與維護保養之日期。

5.1.1 每次在使用顯微鏡分析樣本前必須

1. 重新調整光源。
2. 針對要分析之纖維狀物質聚焦。
3. 確定光圈完成對焦後打開照明至完全照明。

5.1.2 每隔一段時間或每次分析樣本前以 HSE/NPL 檢查玻片(Mark II)測試顯微鏡之偵測極限，測試步驟如下：

1. 取出 HSE/NPL 檢查玻片(Mark II)，將玻片中心置於接物鏡下。
2. 觀察計數板範圍，找出該玻片內之溝紋，調焦使其溝紋清晰可見。

備註：此玻片包含有七組溝紋，每一組有 20 條溝紋，可見度隨著第一組到第七組而漸趨不明顯，纖維計數所需要之條件為顯微鏡必須能夠完全清晰看見前三組之溝紋，第四組及第五組應為部分可見但可能非常模糊，而第六及七組則完全不可見，假使顯微鏡之解析度太高或太低，均不符合纖維計數。

3. 假如影像品質衰退可清潔顯微鏡之光學系統，若問題依然存在，則須通知儀器商進行維修。

5.2 品管：實驗室分析員重覆計數分析之精密度

- 5.2.1 每一實驗室要有一組參考玻片，基本上每天都使用以確保品質保證的完整性，這些玻片應該包括不同現場來源以及熟練分析測試(PAT)樣品，此組參考玻片的濃度範圍及粉塵背景值應符合標準，品管員保管參考玻片要能確定每一計數員最少每天都計數一個參考玻片當作品保程序。每隔一段時間必須改變參考玻片之標示，以避免計數員熟悉這些樣本。

5.2.2 針對參考玻片進行盲樣重覆計數分析，可獲得實驗室計數員本身及各計數員間分析之精密度，針對濃度範圍 5~20 f/100 視野、20~50 f/100 視野以及 50~100 f/100 視野之每一樣本進行分析，可分別獲得相對標準偏差(Sr)，並製作其品質管制圖。

備註：某些樣本(如石綿水泥)分析時會造成精密度不佳。

5.2.3 現場空白樣本應隨同現場樣本一起分析計數，並回報計數結果。

備註：

1.分析員應不知道何者為現場空白樣本，直到分析完成為止。

2.如果現場空白樣本濃度 100 個視野大於 7 根纖維，應報告樣本可能被污染。

5.2.4 進行盲樣重覆計數分析，其法為將已計數完成的樣本數取 10%之樣本給同一計數員再計數(玻片由其他計數員標示)，依此計數結果，個別實驗室可建立每一計數員執行未知樣品重覆計數之精密度。將上述計數結果利用下列方法決定同一樣本及同一計數員之計數結果是否因可能計數偏差而無法通過測試，假如兩次計數(f/mm²)結果均方根差異值其絕對值(|(X₁)^{1/2}-(X₂)^{1/2}|)大於 2.77×(X)×Sr'，則該批次樣本分析結果不予採計應重新分析，X 代表兩次計數(f/mm²)之均方根平均值((X₁)^{1/2}+(X₂)^{1/2})/2。Sr'=Sr/2，Sr 為計數員在適當計數範圍內之相對標準偏差(詳見步驟 5.2.1,5.2.2)，詳細內容可參考 NIOSH 7400 (8/15/1994)參考文獻 13。

備註：

1.由於所計數之纖維為隨機分布，也許如同 Poisson 分布，所計數纖維之均方根值的變化情形類似常態分布。

2.假使重覆計數之結果無法通過標準，重新計數該批樣本，並以新計數之結果代替原先計數之結果，原先計數不予採計。空白樣本計數不需要進行上述狀況之統計處理。

5.3 分析員在分析過程中是非常重要的關鍵，應提供一個沒有壓力及舒適的纖維計數環境。符合人因工程的座椅，顯微鏡之接目鏡應調整在適當的高度及寬度以供鏡檢，周圍環境之照明應與顯微鏡內部照明相似，以降低眼睛疲勞。計數員每次鏡檢 1~2 小時，應休息 10~20 分鐘，以減少疲勞，休息時，眼睛、上背及頸部應進行紓解壓力的活動。

5.4 所有從事石綿計數的實驗室皆應參與石綿熟練測試計畫，如 AIHA-NIOSH 熟練分析測試(PAT)計畫，並與其他實驗室定期交換現場樣本以了解計數員的表現情形。

6. 分析

6.1 將裱數好的玻片放在已校正過之顯微鏡載物台上，將接物鏡鏡頭轉到放大約 40 倍之倍數，調整焦距。

6.2 依據步驟 5.1 進行顯微鏡校正。

備註：使用 HSE/NPL 檢查玻片確認纖維最小偵測直徑(大約 0.25 μm)。

6.3 計數規則

A 計數規則 (與 NIOSH 分析方法 P & CAM 239 相同，計數範例詳見附錄 B)

1.計數長度大於 5 μm 之纖維且整根纖維完全在計數板視野內。

a.如纖維呈蜷曲狀則應沿其蜷曲曲線測量其長度。

b.僅計數長寬比等於或大於 3:1 之纖維。

2.如果纖維橫越該計數板視野邊緣，則依下列方式計數：

a.合乎上述條件 1 之纖維，但只有一端在該計數板視野內，計數 1/2 根纖維。

- b.若纖維橫過該計數板視野邊緣超過1次以上(2次或以上)則不予計數。
- c.合於上述規定以外之纖維，則不予計數。
- 3.成束的纖維除了其中有兩端都能明顯看出是個別纖維，才可予以個別計數，否則應計數為1根纖維。
- 4.若計數所得之纖維數累計 ≥ 100 根，即可停止計數，但其計數的視野數不得少於20個。若所計數的視野數已達100個，則不論計數的纖維數有多少，均應停止計數。
- 6.4 計數時由濾紙圓心開始，依相反的方向上下移動並沿放射狀轉至濾紙外緣，其視野之選擇為隨機的(選擇視野時眼睛需離開接目鏡)，並確保分析時皆可涵蓋濾紙圓心至濾紙外緣。所計數之視野若有團塊顆粒或氣泡蓋住視野面積達1/6以上，則該視野不予計數，重新選擇視野計數，不予計數的視野不可併入計算。

備註：

- 1.當計數一個視野時，調整微調焦距連續掃描聚焦平面上下範圍內可能被隱藏的細小纖維。直徑小的微細纖維非常不明顯，但是對整個計數卻有很大的影響，為達計數準確性，每一視野計數時間最短是15秒。
- 2.本方法無法以纖維形狀區分纖維種類，雖然有些有經驗的計數員以具石綿形狀作選擇性計數，但在各實驗室間目前並沒有可以接受的方法確保判斷石綿纖維的一致性，因此所有實驗室以本方法所得計數結果為纖維總數而非石綿總數。如果有非常多的非石綿纖維干擾計數，則應以穿透式電子顯微鏡確認石綿(詳見NIOSH 7402)；在某些情況下(纖維直徑 $>1\ \mu\text{m}$)，可使用偏光顯微鏡確認及消除非結晶纖維的干擾(詳見NIOSH 7403)。
- 3.避免在濾紙切開邊緣計數，計數時至少應離濾紙邊緣1 mm。
- 4.在某些情況下，靜電可能影響濾紙的採樣，靜電影響大多發生於相對濕度低於20%及採樣接近氣膠發生源，造成濾紙上纖維沉積減少，尤其是靠近濾紙邊緣，如計數時發現此情形，儘量選擇接近濾紙中心的視野。
- 5.計數時應將計數結果記錄於資料表，包括紀錄每一視野計數纖維數、濾紙編號、分析員姓名、計數日期、總計數纖維數、總計數視野數、每一視野之平均纖維數、纖維密度、計數狀況說明。每一視野之平均纖維數(纖維數/視野數)為總計數纖維數除以總計數視野數。纖維密度(f/mm^2)為每一視野之平均纖維數($\text{f}/\text{視野}$)除以視野面積($\text{mm}^2/\text{視野}$)。

7. 計算及報告

7.1 計算及報告濾紙之纖維密度 $E(\text{f}/\text{mm}^2)$ ，以每一視野之平均纖維數(F/n_f)減去空白樣本

$$\text{之平均纖維數}(B/n_b)，除以視野面積(A_f, 0.00785\text{ mm}^2)：E = \frac{\left(\frac{F}{n_f} - \frac{B}{n_b}\right)}{A_f}, \text{f}/\text{mm}^2$$

備註：纖維密度大於 $1300\text{ f}/\text{mm}^2$ 且大於50%濾紙面積被粒狀物蓋住時，應報告為“無法計數”或“可能產生計數偏差”，其他計數在 $100\sim 1300\text{ f}/\text{mm}^2$ 範圍外時，應報告為“濃度的變異性變化很大”及“可能產生計數偏差”。

7.2 計算濃度

計算纖維濃度 $C(\text{f}/\text{cc})$ ，以纖維密度 $E(\text{f}/\text{mm}^2)$ 乘以濾紙有效採集面積 $A_c(25\text{ mm}$ 濾紙面積為 $385\text{ mm}^2)$ 除以採樣體積 $V(\text{L})\times 10^3(\text{cc}/\text{L})$ 。

$$C = \frac{E \times A_c}{V \times 10^3}$$

備註：必要時應定期檢查及修正濾紙有效採集面積Ac。

7.3 計算每一組樣本實驗室間及實驗室內之相對標準偏差(詳見步驟5.2)。

備註：精密度依計數纖維總數而定，已有相關文獻報告提出對於計數100個視野有100根纖維之相對標準偏差值，以下討論實驗室間相對標準偏差之比較，纖維計數大於20根，則纖維計數信賴上限及下限分別為213%及49%(詳見圖2)。

8. 方法評估

8.1 本方法乃P&CAM239之修訂，修訂總結如下：

8.1.1 採樣

在相同採樣體積的情況下，採樣濾紙由37 mm改成25 mm，可增加方法之敏感度(濾紙上纖維數增加)。假如濾紙上非纖維性之粉塵無過負荷之情況下，則採樣流率改變後可允許單一全程採樣之體積為2000 L，在採樣流率為0.5~16.0 L/min狀況下，採樣器之捕集效率與流率並相關性存在。

8.1.2 樣本前處理步驟

使用丙酮蒸氣/三醋酸甘油酯之前處理技術較二甲基苯二酸/二乙基草酸法裱數為快速且樣本保存較為長久，鋁製丙酮蒸發器可以將每個樣本前處理所需之丙酮使用量減至最低。

8.1.3 鏡檢分析

1. Walton-Beckett計數板將鏡檢視野面積固定(標準化)。
2. HSE-NPL檢查玻片可對位相差顯微鏡計數之纖維直徑大小的感度予以標準化。
3. 由於過去對於低濃度之纖維計數偏差較大，因此建議濾紙最低計數濃度已提升至100 f/mm²(計數100視野總計數纖維78.5根，視野面積為0.00785 mm²)。一般而言，與建議的分析範圍比較，較低濃度會有纖維計數高估的現象。濾紙纖維密度在適合計數的範圍內(100~1300 f/mm²)，鏡檢員纖維計數之個人相對標準偏差Sr應達到0.1~0.17之間。

8.2 實驗室間的比較

國際間針對16家實驗室進行石綿水泥業、研磨業、採礦業、紡織業與摩擦材料業之石綿樣本分析，分析之相對標準偏差會隨著樣本型態與實驗室計數規則不同而有所差異，其範圍如下：

	實驗室內標準偏差Sr	實驗室間標準偏差Sr	總標準偏差Sr
AIA(NIOSH A計數規則)*	0.12~0.40	0.27~0.85	0.46
修訂之計數規則(NIOSH B計數規則)**	0.11~0.29	0.20~0.35	0.25
*在AIA計數規則，只有直徑小於3 μm之纖維才予以計數，假使纖維被直徑3 μm以上之粉塵蓋住則不予計數，除此之外，此計數規則與NIOSH A計數規則相似。			
**詳見附錄C			

NIOSH針對現場石綿樣本進行計數研究，得到實驗室內標準偏差Sr介於0.17~0.25之間，而實驗室間標準偏差Sr為0.45，與其他研究所得之結果類似。

在當時對於整體準確度並無獨立的評估方法，評估信賴度的方法之一乃計數單一樣本時，其計數結果是否與許多實驗室計數的平均數一致，下列討論顯示評估方法可根據實驗室間計數之變異性得知，並且可算出計數的精密度與實驗室內及實驗室間標準偏差Sr(備註：下列討論並未包括偏差評估以及低濃度範圍的樣本與適宜計數濃度範圍的樣本其準確度是否一致的問題。)

理論上，濾紙上的纖維分布為隨機分布(Poisson分布)，計數濾紙上的纖維所得到的標準偏差Sr可由所計數的纖維數(N)求得，如下：

$$Sr=1/(N)^{1/2}$$

因此，纖維數為100根時，Sr=0.1，纖維數為10根時，Sr=0.32，許多研究發現，真正的標準偏差Sr要比理論推估所得到的標準偏差還要高。

另一個變異性主要來自於實驗室間分析的主觀差異，針對10位計數員進行計數研究(連續樣本交換方案)，Ogden發現實驗室內標準偏差Sr大約為0.2，整體標準偏差可由下列公式求得：

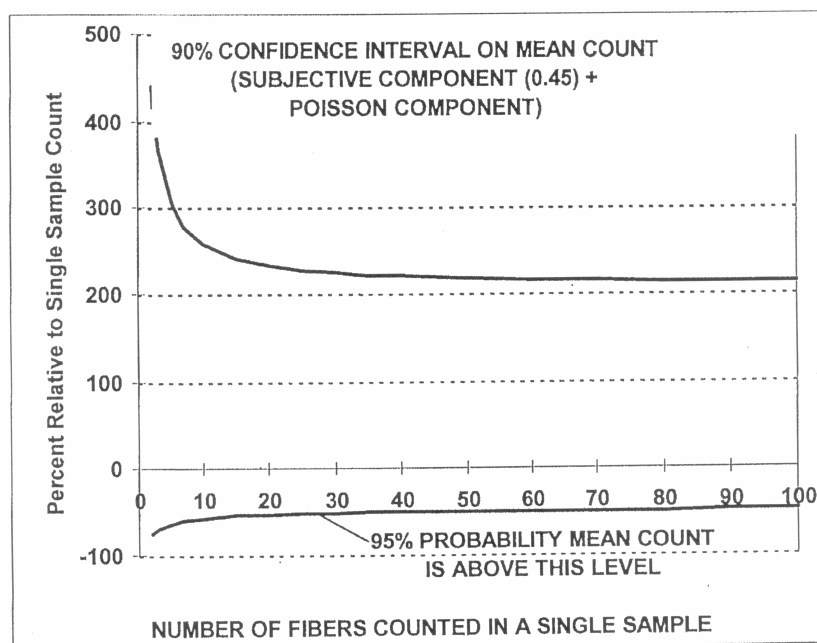
$$[N+(0.2 \times N)^2]^{1/2}/N$$

Ogden發現實驗室內90%上下信賴區間之標準偏差Sr分別為+2Sr及-1.5Sr，在這個研究，10個樣本中，其中一個為品管樣本，假使實驗室未參與品質保證方案，則其主觀變異性可能會更高。

石綿資訊協會(AIA)針對46家實驗室進行現場樣本研究發現，變異性隨著纖維成份及數量而改變，此結果可得到主觀的實驗室間標準偏差Sr(與Ogden的設定基礎相同)，其標準偏差Sr為0.45。針對12家實驗室進行現場樣本分析，可得到類似的標準偏差值，此次研究所得到的標準偏差Sr比1984~1985年NIOSH針對80家實驗室進行PAT方案所得到的標準偏差Sr稍為偏高(0.25~0.45)，該研究的樣本來源為實驗室所製作。

對一個特定實驗室而言，影響標準偏差Sr的因子包括：實驗室精確計數評估及樣本型態；由於現場樣本之實驗室間的品保方案資料不足，主觀的實驗室標準偏差Sr選擇0.45，因此建議執行實驗室間的品保方案以改善及降低實驗室標準偏差Sr。

當所有樣本的平均值已經確定，則可使用前面所述的相對標準偏差，以單一樣本進行纖維計數，這對實驗室而言是一項可以獲得平均纖維數預估在90%信賴區間的好方法(詳見圖3)，這些曲線假設實驗室內及實驗室間計數的分布狀況相似。



資料來源：NIOSH, Method 7400

圖3 實驗室間纖維計數精密度

例如，假設一個樣本計數24根纖維，圖2指出實驗室間平均計數纖維有90%將落在227%以上及52%以下，針對空氣中濃度我們也可直接運用這些百分比，例如，假設樣本(已計數為24根纖維)之採樣體積為500 L，則可得知濃度為0.02 f/mL(假定計數100個視野，濾紙直徑為25 mm，計數面積為0.00785 mm²)，而若同樣以樣本由一群實驗室予以計數，其計數所得之平均濃度值，會有90%之機率落在0.01~0.08 f/mL之間。而在進行實驗室間比較時亦需提出這些假設。

注意使用圖2標準偏差Sr=0.45作為許多實驗室濃度計數的推估值時，假如原來就是執行品保方案的實驗室，發現實驗室間之標準偏差Sr小於上述數值，則應更正用較小數值作為依據。然而用標準偏差Sr=0.45是因上述資訊不足時才予以使用。有些研究發現，特定類型的樣本其標準偏差Sr可能會更高，例如石綿水泥業。

空氣中石綿濃度常常是與法規標準比較而推估得到，例如，單一樣本纖維計數為100根，濃度為0.5 f/mL，則依圖2顯示0.5 f/mL時，會比測量的空氣中濃度高213%以上。假設纖維濃度為0.16 f/mL(已計數為100根纖維)，則許多實驗室計數的平均纖維數有95%會小於0.5 f/mL(0.16+2.13×0.16=0.5)。由圖2可看出，除非計數的纖維數非常少，否則Poisson的變異性不是很明顯，因此，針對計數100根纖維估算其上下平均信賴值分別為213%及-49%。

圖2之曲線可由下列公式確認：

$$UCL = \frac{2X + 2.25 + [(2.25 + 2X)^2 - 4(1 - 2.25Sr^2)X^2]^{1/2}}{2(1 - 2.25Sr^2)}$$

$$LCL = \frac{2X + 4 - [(4 + 2X)^2 - 4(1 - 4Sr^2)X^2]^{1/2}}{2(1 - 4Sr^2)}$$

Sr=實驗室間主觀的相對標準偏差，當計數之纖維數約為100根時，其值與全部實驗室間的相對標準偏差值相近。

X=總計數纖維數

LCL=95%下信賴區間。

UCL=95%上信賴區間。

此二個信賴區間表示全部範圍之90%

9. 參考文獻

- [1] NIOSH Manual of Analytical Methods, Asbestos and Other Fibers by PCM 4th ed. Method 7400 15 August 1994, U.S. Department of Health, Education, and Welfare, Publ. (NIOSH), 1994.
- [2] 勞工作業環境空氣中有害物採樣分析建議方法通則篇，行政院勞工委員會，民國84年12月。
- [3] 勞工作業環境空氣中有害物容許濃度標準，行政院勞工委員會，民國92年12月。

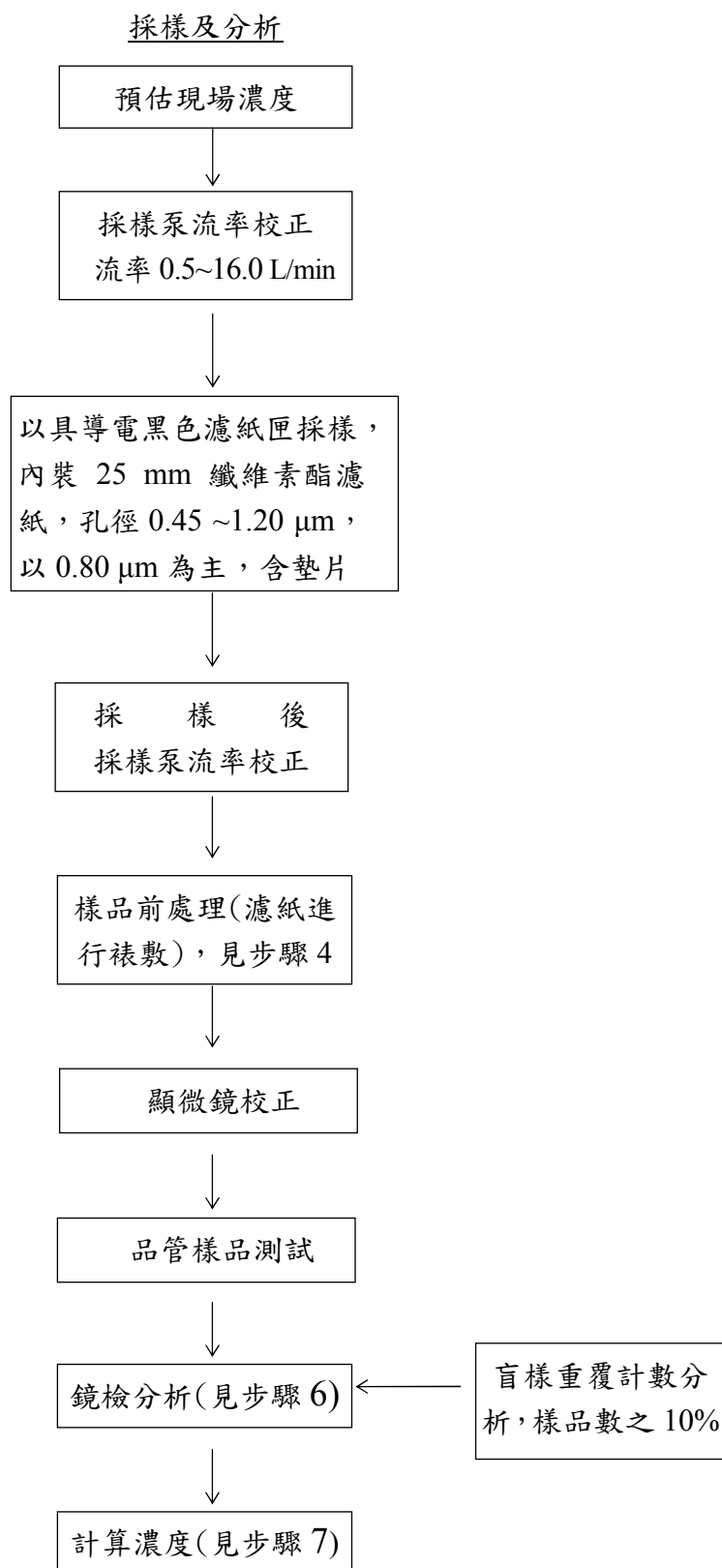
表1 容許濃度資料

單 位	容 許 濃 度 (f/cc)				備 註
	白石綿	青石綿	棕石綿	其他石綿	
勞工委員會	1	--	--	--	長度>5 μm，長寬比等於或大於 3：1
OSHA	0.1	--	--	--	長度>5 μm；1 f/cc 30 分鐘短時間時 量平均容許濃度;致癌物
MSHA	2	--	--	--	
NIOSH	0.1	--	--	--	長度>5 μm，致癌物
ACGIH	2	0.2	0.5	2	致 癌 物

表2 石綿及其他纖維別名

化 合 物	別 名
石綿及其他纖維	陽 起 石 (CAS No.77536-66-4) 或 含 鐵 陽 起 石 (CAS No.15669-07-5)；棕石綿(CAS No. 12172-73-5)；斜方角閃石 (CAS No. 77536-67-5) ； 白 石 綿 (CAS No.12001-29-5)；蛇紋石(CAS No. 18786-24-8)；青石綿(CAS No.12001-28-4)；透閃石(CAS No.77536-68-6)；角閃石 (CAS No.1332-21-4) ； 陶 製 耐 火 纖 維 (CAS No.142844-00-6)；玻璃纖維

附註 1 採樣分析流程圖



附錄A：Walton-Beckett計數板視野校正程序

訂購Walton-Beckett計數板視野之前，必須進行下列校正程序以獲得直徑100 μm 的計數區域，在訂購Walton-Beckett計數板視野時，計數區域的圓形直徑 $d_c(\text{mm})$ 必須規格化。

1. 將計數板放在接目鏡內並調整焦距使計數板視野上之線條清晰。
2. 調整適當的距離並重新設定接目鏡使得放大倍數維持固定。
3. 裝設接物鏡使其放大倍數為40~45倍。
4. 將以微尺(stage micrometer)玻片置於顯微鏡載物台上，並予以對焦。
5. 利用微尺玻片測量計數板之放大長度 $L_o(\mu\text{m})$ 。
6. 移開計數板並使用VERNIER測量計數板之真實長度 $L_a(\mu\text{m})$ 。
7. 計算計數板之圓形直徑。

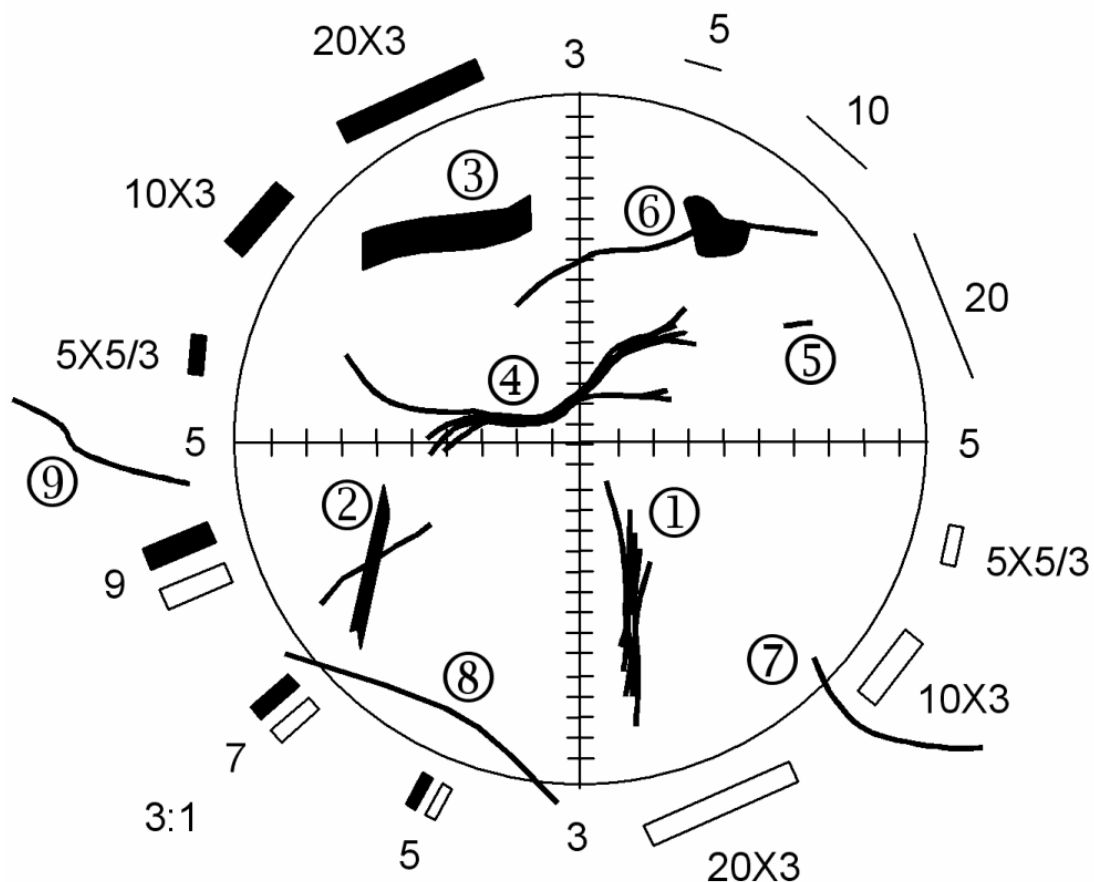
$$d_c = L_a / L_o \times D$$

範例：假使 $L_o=112 \mu\text{m}$ ， $L_a=4.5 \text{ mm}$ ， $D=100 \mu\text{m}$ 則 $d_c=4.02 \text{ mm}$

8. 使用微尺玻片檢查從製造商處訂製之計數板直徑 D (可接受範圍為 $100 \pm 2 \mu\text{m}$)，決定計數板面積(可接受範圍為 $0.00754 \text{ mm}^2 \sim 0.00817 \text{ mm}^2$)。

附錄B：計數規則之比較

圖4 顯示使用顯微鏡觀察Walton-Beckett計數板上之纖維，分別利用A計數規則及B計數規則說明圖中標註號碼之纖維。



資料來源：NIOSH, Method 7400

圖4 Walton-Beckett計數板上之纖維

A計數規則

編號	纖維數量	說明
1	1根纖維	成束的細小纖維，假如纖維似乎是來自同一束的纖維，且纖維長度及長寬比符合計數標準，則不論其是否為石棉，皆可計數為1根纖維。
2	2根纖維	假如纖維長度及長寬比符合計數標準(長度大於5 μm 且長寬比等於或大於3:1)，且纖維並非來自於同一束的纖維，則可分別計數纖維數量。
3	1根纖維	雖然纖維直徑 $>3 \mu\text{m}$ ，但依計數規則仍可視為1根纖維，A計數規則並未對纖維直徑予以規範，量測纖維直徑是以最寬的地方作為量測點。
4	1根纖維	雖然細小長纖維從整束纖維中向外延伸，但細小長纖維似乎是整束纖維的一部分，則依計數規則視為1根纖維。
5	0根纖維	長度 $<5 \mu\text{m}$ ，則不予計數。
6	1根纖維	纖維部分被粒狀物蓋住，假使纖維並非來自於粉塵且長度及長寬比符合計數標準，則可視為分開的纖維。
7	0.5根纖維	纖維的一端在計數板內，則視為0.5根纖維。
8	0根纖維	纖維橫過該計數板視野邊緣超過1次以上，則不予計數。
9	0根纖維	纖維在計數板範圍外，則不予計數。

B計數規則

編號	纖維數量	說明
1	6端纖維	成束的細小纖維，若該纖維有分叉時，且纖維長度、直徑及長寬比符合計數標準，則應分別計數其分叉之端數。
2	4端纖維	纖維長度、直徑及長寬比符合計數標準，纖維並非來自於同一束的纖維，可分別計數纖維端數。
3	0端纖維	雖然纖維長度及長寬比符合計數標準(長度大於5 μm 且長寬比等於或大於5:1)，但纖維直徑 $>3 \mu\text{m}$ ，依計數規則不予計數。
4	10端纖維	成束的細小纖維，若該纖維有分叉時，且纖維長度、直徑及長寬比符合計數標準，則應分別計數其分叉之端數，但每一視野之纖維端數最高不得超過10端。
5	0端纖維	長度 $<5 \mu\text{m}$ ，則不予計數。
6	2端纖維	纖維部分被粒狀物蓋住，則不論粒狀物大小，均應計數合乎計數規則1、2 條件之纖維端數。
7	1端纖維	纖維的一端在計數板內，則視為一端纖維。
8	0端纖維	纖維的2端雖然橫越計數板，但纖維的2端都不在計數板範圍內，則不予計數。
9	0端纖維	纖維在計數板範圍外，則不予計數。

附錄C：非石綿纖維的計數規則

其他特定的非石綿纖維，例如玻璃纖維，應使用其他適當的計數規則，包括下列所述的B計數規則(NIOSH 7400方法8/15/1987 第2版)、世界衛生組織公告的人造礦物纖維參考分析方法及NIOSH針對玻璃纖維標準發表之文件，這些方法針對可吸入性纖維規範限制纖維直徑的上限，在這些方法中需注意長寬比的限制，NIOSH建議計數纖維時要考慮長寬比3：1之規定。

B 計數規則：

1. 僅計數纖維的端數，且纖維長度需大於 $5\mu\text{m}$ ，直徑小於 $3\mu\text{m}$ 。
2. 僅計數長寬比等於或大於 5：1 之纖維端數。
3. 合乎上述 1、2 條件之纖維，但只有一端在該計數板視野內，則計數一端。假使成束的纖維合乎上述 1、2 條件，則應個別計算其分叉之端數。
4. 假使纖維上面附著粒狀物，則不論粒狀物大小，均應計數合乎上述 1、2 條件之纖維端數，假使粒狀物蓋住纖維之一端，若粒狀物直徑 $<3\mu\text{m}$ ，則該端仍予以計數。
5. 個別計數合乎上述 1、2 條件之成束纖維及整團的纖維之端數，但每一視野之纖維端數最高不得超過 10 端(5 根)。
6. 若計數所得之纖維端數累計 ≥ 200 端，即可停止計數，但其計數的視野數不得少於 20 個。若所計數的視野數已達 100 個，則不論計數的纖維端數有多少，均應停止計數。
7. 將計數所得之纖維端數加總除以 2 即為纖維根數。

附錄D：偵測極限及數量之關係(Equivalent Limits of Detection and Quantitation)

濾紙上纖維密度 ^a		空氣中纖維濃度(f/cc)	
纖維數/每100個視野	纖維密度(f/mm ²)	採樣體積為400 L	採樣體積為1000 L
200	255	0.25	0.10
100	127	0.125	0.05
80(LOQ ^b)	102	0.10	0.04
50	64	0.0625	0.025
25	32	0.03	0.0125
20	25	0.025	0.010
10	12.7	0.0125	0.005
8	10.2	0.010	0.004
5.5(LOD ^c)	7	0.0075	0.0027

備註：

- a：假定濾紙有效面積為 385 mm^2 ，視野面積為 0.00785 mm^2 ，相當乾淨濾紙(很少粒狀物)。
- b：適合計數之最低濃度(LOQ)
- c：可量化最低濃度(LOD)