

## 臺灣地區石綿工廠空氣中石綿濃度測定

張火炎\* 王榮德\* 張錦輝\*\*

陳誠仁\*\*\* 吳敏鑑\*\*\*\*

本研究目的是對本省石綿工廠空氣中石綿濃度作一測量。以全省33家石綿工廠為對象，根據美國職業安全衛生研究所建議的最危險工作群，以定點採樣為主，個人採樣為輔，作空氣中石綿濃度採樣，而以位相差顯微鏡作鏡檢分析，共得有效樣本67件。根據各採樣點單一樣本（定點採樣時間30~50分鐘）之偵測，結果發現本省石綿相關工廠中，加料口所測空氣中石綿濃度以石綿紡織業最高：6.25 fiber/c.c.，依次是石綿耐磨業：3.57±1.91 fiber/c.c.（算術平均數±標準差），石綿絕緣業：2.23±0.40 fiber/c.c.。石綿水泥業，最低：2.13±2.69 fiber/c.c.。如果區分乾、溼作業，發現加料口空氣中石綿濃度，溼式作業為2.13±2.69 fiber/c.c.，乾式作業為3.56±1.91 fiber/c.c.。作業現場空氣中石綿濃度，溼式作業為2.02±2.60 fiber/c.c.，乾式作業為2.89±1.60 fiber/c.c.。以局部排氣之有無作比較，溼式作業加料口空氣中石綿濃度有加裝局部排氣者：1.59±1.23 fiber/c.c.，無局部排氣者：2.89±3.82 fiber/c.c.。此次研究發現與作業現場隔絕之辦公室空氣中石綿測試中，亦發現有石綿纖維的存在：0.19 fiber/c.c.，根據推斷可能為作業現場工人攜入所致。

Key words: *asbestos, air concentration.*

（中華衛誌1988;8(1): 28-35）

### 前言

十八世紀以來，人們對於石綿礦物的喜好與應用，隨著發現它特有的理化性質而越來越受到工業界所採用，因而製成各式各樣日常生活用品。但在二十世紀初，第一名因石綿暴露而導致死亡的病例被報告後[1]，有越來越多文獻報告指出石綿是導致石綿肺

病（asbestosis），肺癌（lung cancer），間皮瘤（mesothelioma）的重要致病因[2-6]。

當國外先進國家對石綿製造業，石綿相關產品採取越來越嚴苛的法律規範時[7]，反觀國內石綿使用量，根據有關資料[8]，在民國50年為59噸，民國60年為2327噸，民國70年為2317噸，民國75年為2829噸。在其他國家已趨於減少使用時，本國卻有不降反增的現象。由於石綿工廠在原料儲存、製造程序、廢棄物處理等過程中，均可能產生對現場與社區環境的污染，令人擔心對工人與

\* 台大醫學院公共衛生研究所

\*\* 台灣省勞工處中區勞工檢查所

\*\*\* 成大醫學院內科

\*\*\*\* 台大醫院實驗診斷科

附近居民的影響。本研究所要探討的是國內石綿製造業，現場空氣中石綿纖維濃度與製造型態之關係，並檢討與現行法規是否相符。

## 材料與方法

本次對33家在臺灣省勞工檢查委員會登記之工廠，作空氣中石綿濃度採樣與分析。這33家廠依產品別大致可分為石綿水泥業（以生產石綿浪瓦為主）；石綿耐磨器材業（以生產離合器片，煞車來令為主）；石綿紡織業與石綿絕緣品等四類工廠。我們依現場訪視所得估計作業流程中所可能暴露最多石綿纖維處，以(1)加料（配料）、(2)研磨（鑽孔，切割）為最，我們特別選取這些作業點作為採樣對象，其他作業點為輔。而採樣的方式則以定點採樣（fixed location sampling）為主，輔以美國職業安全衛生研究院（National Institute for Occupational Safety and Health, NIOSH）建議的“最危險工作群”（maximum risk group）的個人採樣（personal sampling）[10]。限於人力、時間因素，本次研究對每一工作點的採樣數，為一個定點採樣及一個個人採樣。準則如下：

石綿水泥工人加料時係以立姿為主，所以定點採樣的採樣幫浦高度定為120--140公分之間，此高度不但符合研磨等工作呼吸範圍，且合乎本國法規[11]。採樣地點之選定儘量接近石綿工人在現場操作的地點。而個人採樣方法乃根據NIOSH之推薦方法[10]。理想採樣時間的計算公式，亦根據NIOSH所推薦之方法。因為以往類似之全面性石綿工廠普查迄今已有多年[12]，所以以往有關石綿濃度則大致上作為參考。此次石綿採樣時間大約定為：定點採樣30分鐘到50分鐘；個人採樣：5分鐘到20分鐘不等

。我們同時製作對照樣本，乃是把一張空白濾紙帶至現場而未作拆封，再帶回實驗室鏡檢。

採樣的濾紙由纖維素酯（cellulose ester）製成，屬於Millipore Type A，孔徑0.8um，定點採樣的濾紙直徑為47mm，個人採樣濾紙之直徑為37mm。定點採樣所用採樣器為勞研式柴田AS-3三台。個人採樣之採樣器則為Sibata三台。事先作好流速校正，流速定在1-1.5lpm之間。樣本濾紙在採樣後，皆用Sibata硬木匣攜帶。

裱敷溶液（Mounting solution）的配製乃是取dimethyl phthalate及diethyl oxalate各5毫升，放入Wheaton balsam瓶中充分混合，且每一毫升溶液添加0.05公克濾紙以增加粘度。

將樣本濾紙剪成6片通過圓心的扇形，一次取一片扇形濾紙處理。以玻棒沾取一滴裱敷溶液滴在載玻片上，將扇形濾紙小心置於其上，並放置一蓋玻片輕輕覆蓋在濾紙中心。靜置20至30分鐘，等扇形濾紙中心完全形成透明，即可進行鏡檢。整個過程皆要避免樣本受到污染。

鏡檢原則乃是根據職業安全衛生研究院（NIOSH）所建議之要點。簡述其要點如下：[13]

1. 樣本先以低倍率（ $10\times 10$ ）掃描一次，檢視透明部分之石綿纖維分佈是否平均。
2. 以位相差顯微鏡高倍率（ $10\times 40$ ）計數之。我們假定凡視野內合乎長度大於5微米，且長寬比大於3：1之規定者之纖維皆視為石綿纖維，且計數為一根石綿纖維。
3. 視野一經選定，宜以平行方式向左或向右移動，一直到計數滿100根纖維或至少20個視野為止。若少於100根，則計數至多100個視野。
4. 其餘石綿纖維計數原則皆遵照NIOSH

之規定。

空氣中石綿濃度計算公式：

$$\text{空氣中石綿濃度} = \frac{\text{濾紙有效面積} \times (\text{樣本單位平均纖維數} - \text{空白試驗單位平均纖維數})}{\text{鏡檢視野面積} \times \text{採樣空氣容積} \times 1000}$$

( 本次空白試驗纖維數為0.03 fibers/c.c. )

統計檢定：由於本研究空氣中石綿濃度分佈不呈常態故以Wilcoxon Rank Sum Test [14]作檢定。

### 結 果

本次共採了73個樣本，共有 4 個樣本受

到污染外，又因為前後計數相差過大，捨棄 2 個樣本，總共捨棄 6 個樣本，只剩下67個有效樣本。鏡檢結果，其中以石綿耐磨磨器材業，石綿絕緣業，石綿水泥業（加料處）濃度較高，見表一。

一般說來，溼式作業較乾式作業空氣中石綿濃度有顯著為低，見表二。而有局部排

表一 不同作業類別下之空氣中石綿濃度

作 業 類 別	採樣點	廠數	樣本數	算數平均值 (標準差)	幾何平均值 (標準差)	範 圍
石 綿 水 泥	加料口	21	40	2.13(2.69)	1.26(3.09)	0.04-13.84
	過 磅	1	1	1.35	—	—
	抄 機	1	1	0.81	—	—
	切頭尾	2	2	0.40(0.48)	0.21(5.91)	0.06- 0.74
	辦公室	1	1	0.19	—	—
石綿耐磨業	加料口	5	6	3.57(1.91)	3.10(1.83)	1.40- 6.18
	研 磨	8	10	2.24(1.27)	1.49(4.17)	0.03- 4.49
	混 合	1	1	3.72	—	—
石 綿 紡 織	加料口	1	1	6.25	—	—
	精 紡	1	1	3.40	—	—
	織 布	1	1	1.95	—	—
石 綿 絕 緣	加料口	1	2	2.23(0.40)	2.22(1.01)	2.20- 2.25

氣者比沒有者濃度顯著為低，見表三。各類工廠廠內工業安全衛生與員工佩戴呼吸防護

具情形大多未臻理想[15]，所以假設他們之間是可具比較性的。

表二 依乾溼作業類別來看空氣中石綿濃度

作業類別	採樣點	廠數	樣本數	算數平均數 (標準差)	幾何平均數 (標準差)	Wilcoxon[9] Rank Sum 檢定 P 值
溼式作業 *	加料	21	40	2.13(2.69)	1.26(3.09)	0.06
乾式作業	加料	12	9	3.56(1.91)	3.96(2.89)	
溼式作業	現場 **	21	44	2.02(2.60)	1.15(3.22)	< 0.001
乾式作業	現場	12	23	2.89(1.60)	2.21(2.91)	

\* 溼式作業：石綿水泥業  
乾式作業：石綿交通業，石綿紡織業，石綿絕緣業  
\*\* 現場：辦公室以外之各處作業點。

表三 石綿水泥（溼式作業）加料口依局部排氣之有無與空氣中石綿濃度之關係

樣本數	局部排氣 有 無	算術平均數 (標準差)	幾何平均數 (標準差)	Wilcoxon[9] Rank Sum 檢定 P 值
23	有	1.59 (1.23)	1.16 (2.50)	< 0.001
17	無	2.89 (3.82)	1.41 (3.99)	



## 討 論

本次空氣中石綿濃度測試方法之選用，在時間上係採取隨意取樣之方式。石綿工廠本身有季節性變動是衆所週知的。生產情形會隨季節與市場需求有所更動。去年八月中旬韋恩颱風來襲，造成全省石綿瓦的供不應求，各個石綿水泥廠無不趁此機會日夜趕工增加生產，而過四個月後，石綿瓦需求趨近飽和，石綿水泥廠又恢復單班生產，甚至減產的情形[16]。這期間因產量的高低而影響採樣樣本的穩定性是需要加以評估的。

本次限於有限時間，人力之下無法作作業現場之時均量（time-weighted average）的評估，本次定點採樣的時間定在30分鐘至50分鐘不等，未能真正充分代表長期石綿的暴露濃度。鑑於石綿濃度的變異性極大，建議下次的研究，採樣方法以全程連續多樣本採樣法；並考慮季節，輪班等因素。我們以此次研究所得建議，下次類似研究每一樣本理想平均採樣時間：（見表四）

雖然在鏡檢時有實施複檢（recount），但限於人力與時間，本次複檢與初檢係同一人，所以不是完全的盲目複檢（blind recount），且在編號沒有改變之下作複檢，雖然是逢10取1，且依規定將前後兩次結果相差大於2.77倍兩次平均濃度與變異係數乘積者予以捨棄，但是與標準方法仍有所出入，下一次最好需改進為不同人重數。

本次研究採樣對象為最危險工作群，對於工廠中其餘部份採樣甚少。但由少數樣本得知，與作業現場隔離之辦公室亦發現有石綿纖維的存在（見表一）。根據現場觀察推測，此石綿纖維乃是作業現場工人至辦公室時，由於並未盥洗與更換衣物，而攜帶至非

作業現場。所以建議未來研究對於作業現場以外之處的石綿纖維濃度，亦需加以採樣研究，這樣不僅可以研究非作業現場員工所暴露的石綿濃度，也可以進一步研究因作業現場員工“外帶”至辦公室，社區及家庭的二次石綿暴露量。

因製造過程的不同需要，石綿水泥在生產過程中需加水參與，故整個工廠中可以水濡溼現場，而減低石綿纖維的飛揚；反之，石綿耐磨業，石綿絕緣業因應其他原料特質或產品需要，則無法沾水，所以整個作業流程是屬於乾式。雖然石綿日平均使用量以溼式較高（石綿水泥：6300公斤；石綿絕緣：1000公斤；石綿紡織：50公斤；石綿耐磨：113公斤。[15]）此項研究發現溼式作業不論在加料處或作業現場全廠平均皆較乾式作業為低（參見表二）。乾式作業中又以石綿紡織業為最高，其作業流程乃是將石綿原料打散，搓絲，精紡，成疋，此過程極易將石綿打散飛揚空氣中。

局部排氣的有無，是影響同型作業中，石綿纖維逸散程度的重要差異。從表三可以看出同是溼式作業的石綿水泥，有啟動局部排氣與否（包括未裝置局部排氣裝置）的差異。最顯明的一個例子：在北部某家新建石綿廠，有兩條生產線同為生產石綿浪瓦的石綿水泥廠，一生產線已加裝局部排氣裝置，其空氣中石綿濃度為0.18、0.98 fiber/cc，另一則正在安裝，所測空氣中石綿濃度為1.02、2.17 fiber/cc。

同一家工廠，生產同一類型的產品，僅局部排氣有無之差別，石綿濃度竟相差三倍，可見加裝並使用局部排氣之重要性。本次研究沒有進一步測試局部排氣裝置之效率，這是值得下一次研究建議改進的。



表四 依作業別建議採樣時間表

作業別	採樣點	假定加料口濃度 (f / c.c)	濾紙直徑 (mm)	流速 (lpm)	建議採樣時間* (min)
石綿水泥	加料口	2.21	47	1	19.4-96.7
				2.5	7.7-38.7
			37	1	17.2-86.0
				2.5	6.9-34.4
石綿耐磨	加料口	3.57	47	1	12.0-59.9
				2.5	4.8-24.0
			37	1	10.7-53.2
					4.3-21.3
石綿紡織	加料口	6.25	47	1	6.8-34.2
				2.5	2.7-13.7
			37	1	6.1-30.4
				2.5	2.5-12.2
石綿絕緣	加料口	2.23	47	1	19.2-95.9
				2.5	7.7-38.4
			37	1	17.1-85.2
				2.5	6.8-34.1

\* 理想採樣時間[12]

單位視野石綿濃度×濾紙有效採集面積／顯微鏡視野面積

=

流速×假設空氣中石綿濃度×1000

單位理想視野石綿濃度：1-5 fibers／field

濾紙有效採集面積：37mm：855.29cm

47mm：962.11cm

顯微鏡視野面積：0.0225mm

理想流速：1-2.5 lpm

### 參考資料

1. Michaels L, Chisick SS. Asbestos Volume 1. properties, application and hazard. Belfast: Jone Wiley and Sons. 1979:3.
2. Richard J. Biological effects of asbestos fibers. In: Richard J. Asbestos: An Information Resource. California: National Cancer Institute. 1978:21-40.
3. McDonald AD, McDonald JC. Epidemiology of malignant mesothelioma. In: Antman K, Aisner J, eds. Asbestos-related malignancy. Orlando: Grune & Stratton Inc, 1987:31-55.
4. McDonald JC, McDonld AD. Epidemiology of asbestos-related lung cancer. In: Antman K, Aisner J, eds. Absestos related malignancy. Orlando: Grune & Stratton Inc, 1987:57-79.
5. Doll R, Peto J. Other asbestos-related neoplasm. In: Antman K, Aisner J, eds. Asbestos-related malignancy. Orlando: Grune & Stratton Inc, 1987:81-96.
6. Council on Scientific Affairs. A physician's guide to asbestos-related Disease. J Am Med Assoc 1984; 252:2593-7.
7. International Labor Organization. Safety in the use of asbestos. Geneva: ILO, 1984:94-6.
8. 台灣省礦務局。主要礦產品產銷量。台灣礦業，1985,6;(7):60-9。
9. Rosner B. Nonparametric methods. In: Rosner B.. Fundamentals of biostatistics. Boston: Baxburg Press, 1986:278-300.
10. Leidel NA, Busch KA, Lynch JR. Exposure measurement sampling strategy. In: National Institute of Occupational Health And Safety. Occupational Exposure Sampling Strategy Manual. Cincinnati: NIOSH, 1977:33-46.
11. 內政部勞工司。勞工作業環境測定實施要點：七十台內勞字第2953號。中華民國七十年三月十二日公布。
12. 陳文平。石棉作業調查研究報告。台灣省工礦檢查委員會，1984:14。
13. National Institute of Safety and Health. Sampling and Evaluation Airborn Asbestos Dust. Cincinnati, NIOSH, 1977.
14. Snedecor GW, Cochran WG. Statistical methods. 6th ed. Ames, Iowa: Iowa State University Press, 1980: 144-5.
15. 張火炎，王榮德，陳誠仁，索任，陳純慈，吳敏鑑。臺灣地區石棉工廠工業衛生普查。未發表。
16. 行政院經濟建設委員會。主要工業產品產量。自由中國之工業，1987(68)1:100。



## AIRBORNE ASBESTOS CONCENTRATION IN ASBESTOS-RELATED FACTORIES IN TAIWAN

CHANG HY\*, WANG JD\*, CHANG JW\*\*, CHEN CR\*\*\*, WU MC\*\*\*\*

The objective of this study was to determine the concentration of airborne asbestos inside asbestos-related factories in Taiwan. Besides performing personal sampling on the maximum risk groups, we also collected area samples. On the basis of the single simple sample (area sampling duration : 30-50 min, the results were as follows: Among the four kinds of asbestos-related factories, the concentration of airborne asbestos in textile was the highest, 6.25 fibers/c.c.; followed by the brake-lining factories, which was  $3.57 \pm$

1.91 fibers/c.c. And that of the insulating factories was  $2.23 \pm 0.4$  fibers/c.c. and that of the cement factories was  $2.13 \pm 2.69$  fibers/c.c. The air concentration of asbestos was higher in a factory with wet process than that in a dry process; and the lower under ventilation control than without control at the cement manufacturing process. Asbestos concentration in a randomly selected office, which was just next to the cement manufacturing area, was found to be 0.19 fiber/c.c.

(*J Natl Public Health Assoc (ROC)* 1988; 8(1): 28-35)

\*Center for the Research of Environmental and Occupational Disease, Graduate Institute of Public Health  
National Taiwan University College of Medicine.

\*\*Middle Area Inspection Bureau, Dept. of Labor, Taiwan Provincial Government

\*\*\*Department of Internal Medicine, National Cheng Kung University College of Medicine

\*\*\*\*Department of Clinical Pathology, NTUH, college of Medicine, NTU