

我國資源再生產業金屬回收作 業勞工危害暴露調查研究

.....

**Hazards Exposure Survey of Metal Recycling Processes in
Recycling Industries**



我國資源再生產業金屬回收作業勞工危害暴露調查研究

**Hazards Exposure Survey of Metal
Recycling Processes in Recycling
Industries**

我國資源再生產業金屬回收作業勞工危害暴露調查研究

Hazards Exposure Survey of Metal Recycling Processes in Recycling Industries

研究主持人：陳成裕、劉宏信

計畫主辦單位：勞動部勞動及職業安全衛生研究所

研究期間：中華民國 107 年 2 月 27 日至 107 年 12 月 31 日

本研究報告公開予各單位參考
惟不代表勞動部政策立場

勞動部勞動及職業安全衛生研究所
中華民國 108 年 6 月

摘要

高科技產品中內含的原物料（例如稀有金屬和特殊材料）回收再利用價值高，並可降低對於原生原物料的需求。當產品使用壽命到達後，廢棄時如進入再生循環時，產品被破碎，內含具危害性的原物料就會被釋放出來，再生過程中進行破碎、酸洗溶解消化、萃取回收及再生作業的勞工就可能暴露具危害性的原物料及特定化學物質。本研究調查資源再生產業金屬回收作業勞工危害物暴露狀況，評估健康危害風險，保障作業勞工健康。

本研究選取國內規模較大之 6 間工廠進行現場訪視及問卷調查，並根據作業流程規劃個人及區域相關作業之金屬粉塵、酸洗暴露及氰化物之採樣。本研究以感應耦合電漿質譜儀（ICP-MS）定性及定量分析粉塵中之金屬成分，並計算現場濃度是否超過我國及國際所規定之容許濃度值。酸洗作業採樣及分析使用我國現行 CLA 2901 方法，以離子層析儀（IC）分析六種無機酸之空氣中濃度，了解作業勞工酸洗作業時之暴露量。雖然氰化物相關製程並非每個工廠皆有，本研究調查確認作業勞工是否有氰化物之暴露。

6 間工廠多以回收事業廢棄物為主要廢料來源，分析結果發現 6 間工廠因回收來料的不同導致分析結果顯示不同比例之金屬元素。本研究中發現破碎作業時粉塵量會高於燒解及熔煉及燒解作業，產生較多銅（Cu）粉塵；於本研究中的 F 廠中，粉碎作業區之個人及區域採樣鈷（Co）濃度分別為 0.149、0.402、0.375 mg/m³，超過我國容許暴露標準 0.05 mg/m³，鑄錠區區域採樣之銀暴露濃度為 0.0155 mg/m³，超過我國容許暴露標準 0.01 mg/m³。在提煉貴金屬過程中常見之酸洗（溶）製程中，以硫酸、鹽酸及硝酸為最常用的無機酸類，並於某些工廠中，發現了少量的氫氟酸存在。在氰化物採樣中，則未偵測到氰根離子。金屬粉塵及無機酸氣體都可能使鼻腔、肺部及其他器官造成傷害，因此作業時應佩戴適當之呼吸防護具以避免勞工過度吸入，且應適時更換呼吸防護具。

關鍵詞：資源再生產業、金屬回收、危害暴露調查

Abstract

Materials in high-tech products (i.e. rare metals, special materials, and so forth) have high re-use values, and recycling them reduces the demand from the sources. When these products reach the end of their useful lifecycle, if recycled, end products will be broken down and hazardous materials will be released. During the processes of breaking down, pickling, dissolving, extracting, and reproduction, workers in this process may be exposed to these rare, hazardous materials. This study will conduct an exposure survey and assess the effects on the health of workers who are exposed to these rare hazardous materials in order to protect workers' health.

In this study, six large factories in Taiwan were selected for on-site visits and questionnaire surveys; also, the sampling of metal dusts, pickling exposure, and cyanide for individual and regional related operations were planned in accordance with the operational processes. In this study, Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry (ICP-MS) was used to qualitatively and quantitatively analyze the metal components in dusts. In addition, the actual exposure of a particular metal element and the concentration at the work site were calculated to measure whether the allowable concentrations as specified by various international standards are exceeded. For the sampling and analysis of pickling operations, the CLA2901 method was used to analyze the concentrations of six inorganic acids by Ion Chromatography (IC), to understand the composition of the pickling solution, and the exposure in the work place. Processes related to cyanide do not exist in every factory. The purpose of sampling is to confirm the presence of cyanide ions (CN^-).

The six factories mostly use recycling waste as their main sources of raw materials. Analysis demonstrated that different proportions of metal elements caused by differences in the recycled materials. In this study, it was found that the amount of copper (Cu) metal dust in the crushing operation was higher than that found in the pyrolysis, smelting, and burning operations. For Plant F in the study, the cobalt (Co) concentrations in the crushing zone were 0.14862, 0.40162, and 0.37487 mg/m^3 , which exceeded Taiwan PEL standard of 0.05 mg/m^3 . The silver (Ag) concentration in the Ingot casting area was 0.0155 mg/m^3 , which exceeded Taiwan PEL standard of 0.01 mg/m^3 . During the process of refining precious metals, sulfuric acid, hydrochloric acid, and nitric acid are the most commonly used inorganic acids in the pickling process. In addition, low concentrations of hydrofluoric acid were found in some

plants. And no cyanides exposure was found in this study. Metal dust and inorganic acid gases can cause damages to the nose, lungs, and other organs. Therefore, appropriate respiratory protection should be worn during operation to avoid excessive hazards exposure and should be replaced on a regular basis to protect workers.

Key Words: recycling industry, metal recycling, hazards exposure survey

目 次

摘 要.....	i
Abstract	ii
目 次.....	iv
圖目次.....	vi
表目次.....	vii
第一章 計畫概述.....	1
第一節 前言.....	1
第二章 資源再生產業概況與可能危害暴露.....	7
第一節 資源再生產業製程概況.....	7
第二節 可能金屬暴露危害.....	11
第三節 可能特定化學物質暴露危害.....	17
第四節 危害暴露研究文獻回顧.....	19
第五節 工作項目.....	29
第三章 研究方法及步驟.....	30
第一節 研究方法.....	30
第二節 作業環境監測.....	31
第四章 結果與討論.....	35
第一節 完成之工作項目.....	35
第二節 各廠資料調查收集分析.....	35
第三節 作業環境監測調查結果分析.....	36
第四節 無機酸採樣方法適用性之探討.....	56
第五章 結論與建議.....	58
第一節 結論.....	58
第二節 建議.....	59
誌 謝.....	61
參考文獻.....	62
附錄一 事業單位資料調查整理.....	66

附錄二 各金屬之分析檢量線及回收率.....	73
------------------------	----

圖目次

圖 1 2014-2021 年全球電子廢棄物處理之預估成長量.....	7
圖 2 台灣資源再生產業廠家數趨勢圖.....	8
圖 3 物理處理流程.....	10
圖 4 電析處理流程圖.....	10
圖 5 酸洗處理流程.....	11
圖 6 研究架構圖.....	30
圖 7 A 工廠採樣規劃圖.....	38
圖 8 B 工廠採樣規劃圖.....	41
圖 9 C 工廠採樣規劃圖.....	44
圖 10 D 工廠採樣規劃圖.....	47
圖 11 E 工廠採樣規畫圖-1.....	50
圖 12 E 工廠採樣規畫圖-2.....	50
圖 13 E 工廠採樣規畫圖-3.....	51
圖 14 F 工廠採樣規畫圖-1.....	54
圖 15 F 工廠採樣規畫圖-2.....	54
圖 16 F 工廠採樣規畫圖-3.....	55
圖 17 F 工廠採樣規畫圖-4.....	55

表目次

表 1 稀有金屬資源的材料特性與應用產業	2
表 2 稀有金屬及稀土元素之我國容許暴露標準管制值與 IARC 致癌性分類表	2
表 3 貴金屬和一般金屬我國容許暴露標準管制值與 IARC 致癌性分類表	5
表 4 金屬粉塵容許暴露標準	16
表 5 特定化學物質容許濃度	18
表 6 氰化物容許濃度	18
表 7 越南北部電子廢棄物回收廠花園土壤、地面粉塵、食物、空氣樣本中的金屬成分	19
表 8 非洲迦納電子廢棄物回收廠金屬暴露	20
表 9 電子廢棄物回收區與其他區域之成人每日攝入之室內粉塵污染物	21
表 10 廢電子電器組、廢資訊物品組及行政人員組三組勞工血液及空氣 PBDEs 總濃度分布	22
表 11 潛在污染物及其職業健康危害	23
表 12 硝酸與環境互相作用下所釋放的硝酸與氮氧化物	28
表 13 各廠基本資料	35
表 14 A 工廠採樣規劃	37
表 15 A 工廠採樣區域及總粉塵濃度	37
表 16 A 工廠無機酸濃度分析	38
表 17 A 工廠金屬濃度分析結果	38
表 18 A 工廠氰化物濃度分析結果	39
表 19 B 工廠採樣規劃	40
表 20 B 工廠採樣區域及總粉塵濃度	40

表 21 B 工廠無機酸濃度分析	41
表 22 B 工廠金屬濃度分析結果	41
表 23 B 工廠氰化物濃度分析結果	42
表 24 C 工廠採樣規劃	43
表 25 C 工廠採樣區域及總粉塵濃度	43
表 26 C 工廠無機酸濃度分析	44
表 27 C 工廠金屬濃度分析結果	45
表 28 D 工廠採樣規劃	46
表 29 D 工廠採樣區域及總粉塵濃度	46
表 30 D 工廠無機酸濃度分析	47
表 31 D 工廠金屬濃度分析結果	47
表 32 D 工廠氰化物濃度分析結果	48
表 33 E 工廠採樣規劃	49
表 34 E 工廠採樣區域及總粉塵濃度	49
表 35 E 工廠無機酸濃度分析	51
表 36 E 工廠金屬濃度分析結果	51
表 37 F 工廠採樣規劃	53
表 38 F 工廠採樣區域及總粉塵濃度	53
表 39 F 工廠無機酸濃度分析	55
表 40 F 工廠金屬濃度分析結果	56

少或開採精煉困難的金屬或元素，稀有金屬資源的材料特性與應用如表 1[1]：

表 1 稀有金屬資源的材料特性與應用產業

稀有資源	材料特性	應用產業
釔(Y)	耐高溫性、超導體	LED 照明、螢光粉、光纖
鈰(Ce)	觸媒特性、耐高溫性	玻璃添加劑、拋光粉
釹(Nd)	強磁性、耐腐蝕性	永磁材料、高效能家電、電動車
銦(Eu)	光學特質	螢光粉、光學濾光片
銦(In)	光電變換、光學特質	液晶螢幕、觸控面板
鐳(Dy)	放射線機能、耐高溫性	原子能領域、極精密機械
鉭(Ta)	光學特質、耐腐蝕性	光學鏡頭、高端裝備製造
鎵(Ga)	超導性、光電變換、光學特質	太陽能板、半導體
鉬(Mo)	光電特質、耐腐蝕性	光學鏡頭、高端裝備製造
鈦(Ti)	耐低溫、高硬度、低密度	高硬度器具及手錶、刀片
鈷(Co)	強磁性、半導體、高耐熱性	高速鍋、導航系統、醫療設備
鎳(Ni)	強磁性、半導體	電池、導電漿料

這些稀有金屬資源尤其是被大量應用在液晶螢幕、觸控面板、半導體、光電、行動裝置、3C 產品、電動車輛和各式電池等產業。這些稀有金屬在勞動部公佈之「勞工作業場所容許暴露標準」中大多有容許暴露標準和被世界衛生組織（WHO）的國際癌症研究中心（International Agency for Research on Cancer, IARC）界定為致癌物，如表 2：

表 2 稀有金屬及稀土元素之我國容許暴露標準管制值與 IARC 致癌性分類表

稀有金屬及稀土元素	容許暴露標準	IARC*致癌性分類
銻 Antimony 銻及其化合物	0.5 mg/m ³	2B
鋇 Barium 鋇及其可溶性化合物	0.5 mg/m ³	--

鈹 Beryllium 鈹及其化合物	0.002 mg/m ³	1
硼 Boron 三溴化硼、三氟化硼	1 ppm (高)	--
鎘 Cadmium 鎘及其化合物	0.05 mg/m ³	1
鉻 Chromium 六價鉻化合物、三價鉻化合物、二價鉻化合物、鉻金屬	0.05 mg/m ³ 、0.5 mg/m ³ 、0.5 mg/m ³ 、1 mg/m ³ 、	1 & 3
鈷 Cobalt 鈷，金屬燻煙及粉塵	0.05 mg/m ³	2B
鎘 Gallium 砷化鎘 Gallium arsenide	--	1
鍺 Germanium 四氫化鍺	0.2 mg/m ³	--
銦 Indium 銦及其化合物、磷化銦 Indium phosphide	0.1 mg/m ³	2A
鋰 Lithium hydride	--	--
錳 Manganese 錳，燻煙、錳及其無機化合物、碳三羧基戊基錳	1 mg/m ³ 、5 mg/m ³ (高)、0.1 mg/m ³	--
鉬 Molybdenum 鉬，不溶性化合物	5 mg/m ³	--

釹 Neodymium	--	--
鎳 Nickel 鎳，金屬及非溶性化合物、鎳，可 溶性化合物、四羰化鎳	1 mg/m ³ 、0.1 mg/m ³ 、 0.001 ppm	1
鈀 Palladium	--	--
鉑 Platinum 鉑金屬、鉑，可溶性鹽類	1 mg/m ³ 、0.002 mg/m ³	--
銠 Rhodium 銠金屬燻煙及非溶性化合物、銠可 溶性化合物	0.1 mg/m ³ 、0.01 mg/m ³	--
銣 Rubidium	--	--
硒 Selenium 硒化合物、四氫化矽	0.2 mg/m ³ 、0.05 ppm	3
銪 Strontium 酪酸銪	--	--
鉭 Tantalum 鉭，金屬及氧化性粉塵	5 mg/m ³	--
碲 Tellurium 碲及其化合物	0.1 mg/m ³	--
鉈 Thallium	--	--
鈦 Titanium 二氧化鈦	10 mg/m ³	--
鎢 Tungsten	5 mg/m ³ 、1 mg/m ³	--

鎢，非溶性化合物、鎢，可溶性化合物		
鈮 Vanadium 五氧化二鈮粉塵、五氧化二鈮燻煙	0.5 mg/m ³ (高)、0.1 mg/m ³ (高)	2B
鈮 Yttrium 鈮，金屬及其化合物	1 mg/m ³	--
鈳 Zirconium 鈳化合物	5 mg/m ³	--

*IARC 致癌性分類：第 1 類：確定為人類致癌因子，第 2A 類：極有可能為致癌因子，第 2B 類：可能為致癌因子，第 3 類：無法歸類為致癌因子，第 4 類：極有可能為非致癌因子。

其他傳統持續被回收再生的貴金屬和一般金屬在勞動部公佈之「勞工作業場所容許暴露標準」中也大多有容許暴露標準和被世界衛生組織（WHO）的國際癌症研究中心（International Agency for Research on Cancer, IARC）界定為致癌物，如表 3：

表 3 貴金屬和一般金屬我國容許暴露標準管制值與 IARC 致癌性分類表

金屬	容許暴露標準	IARC*致癌性分類
金 Gold	--	--
銀 Silver 銀，金屬、及可溶性化合物	0.01 mg/m ³	--
銅，燻煙、銅，粉塵和霧滴	0.2 mg/m ³ 1 mg/m ³	--
鐵 Iron 五羰鐵、氧化鐵（燻煙）	0.1 ppm 0.2 10 mg/m ³	--

鉛 Lead 鉛及其無機化合物、砷酸鉛	0.05 mg/m ³ 0.15 mg/m ³	2A
鋅 Zinc 氧化鋅（燻煙）	5 mg/m ³	--
鋁 Aluminium 鋁，金屬及不溶性化合物	--	1
錫 Tin 錫及錫無機化合物、錫有機化合物、氧化錫	2 mg/m ³ 、0.1 mg/m ³ 、 2 mg/m ³	--

*IARC 致癌性分類：第 1 類：確定為人類致癌因子，第 2A 類：極有可能為致癌因子，第 2B 類：可能為致癌因子，第 3 類：無法歸類為致癌因子，第 4 類：極有可能為非致癌因子。

雖然各類產品內可能含有具危害性和有健康疑慮的原物料如稀有金屬和特殊材料，但在正常使用中，一般民眾是不會暴露這些具危害性和有健康疑慮的物質。當產品使用壽命到達後，廢棄進入再生循環時，產品被破碎，內含具危害性的原物料就會被釋放出來，再生過程中進行破碎、溶解消化、萃取回收及再生作業的勞工就可能暴露具危害性和有健康疑慮的原物料。除了在破碎、粉碎作業，可能暴露具危害性的原物料粉塵外，溶解消化、萃取回收作業，使用強酸（如硝酸、鹽酸、氫氟酸）、有機溶劑等化學物質溶解待回收物質，可能暴露強酸、有機溶劑等化學物質，再生作業時，可能暴露具危害性的原物料。本研究將調查作業勞工危害物暴露狀況，評估健康危害風險，保障作業勞工健康。

第二章 資源再生產業概況與可能危害暴露

第一節 資源再生產業製程概況

近年來，世界人口劇增，高科技產業蓬勃發展，生活品質提升，對於科技產品的需求量也隨之增加[2]；全球商業發展在「開採、製造、使用、丟棄」的線性經濟脈絡下[3]，造成不可逆的資源耗竭，更隨著產業迅速擴張，產品推陳出新速度日益增加，生命週期縮短，在生產過程中產生之廢棄物及使用汰舊的產品數量也不斷攀升，形成大量的高科技廢棄物。如何將此類科技廢棄物妥善處理，成為全球議題，循環經濟的概念及相關政策也逐漸在各國萌芽。

根據聯合國「電子廢棄物問題解決計畫」（Solving the E-Waste Problem Initiative；StEP）研究結果，2016 年全球電子垃圾量再創新高，約達 4,470 萬噸，每人平均製造電子垃圾量也逐年增加，如圖 1[4]，我國行政院環境保護署（環保署）統計資料更顯示，電子電器物品類及資訊物品類之廢棄物，於 2017 年總計達 137,469,508 台[5]；然而，數以千萬公噸的電子廢棄物，並不全都是無價值的垃圾，聯合國研究中也指出，在 2016 年所產生的電子廢棄物中，蘊藏著高達 500 公噸的黃金，更遑論還有許多其他種類的「有價金屬」，總值高達 550 億歐元（約台幣 1 兆 9800 億元），包括鉑、銀、鈦等藏在各式各樣的電子零件，如廣泛應用於資訊、通訊、民生、軍事、航太等領域的印刷電路板（Printed Circuit Board, PCB）更蘊藏著多種重金屬。



圖 1 2014-2021 年全球電子廢棄物處理之預估成長量

除了使用汰換後遭丟棄的產品外，在科技產業生產各類產品的過程中，也會產生許多的製程廢棄物，例如：廢液、廢汙泥、下腳料、不良品...等，此類事業廢棄物隨著科技的發展更是逐年攀升，且通常為有害之事業廢棄物，若任意棄置將會對環境造成極大的衝擊，也會使內含之稀有資源遭到浪費；我國環保署統計數據指出 2017 年之有害事業廢棄物達 140 多萬公噸比 2016 年多出近 10 萬公噸[5]，說明目前我國對於廢棄物處理的需求正不斷增加。

面對只增不減的廢棄物，世界各國都面臨挑戰，於是，「搖籃到搖籃」（產品體系的生命週期，乃至從原料選用開始，經過加工、製造、包裝、運輸、銷售、消費之生產過程；及廢棄物收集、處理、回收與循環再利用之生產消費過程）[1]的產品概念逐漸在國際間蔓延，如何將廢棄物賦予新生命，實踐循環經濟的願景成為多數先進國家的環保政策方向，歐盟各國、英國、日本、美國及中國等都紛紛響應，在此趨勢下，我國再生資源產業廠家數也大幅成長（如圖 2）[6]。

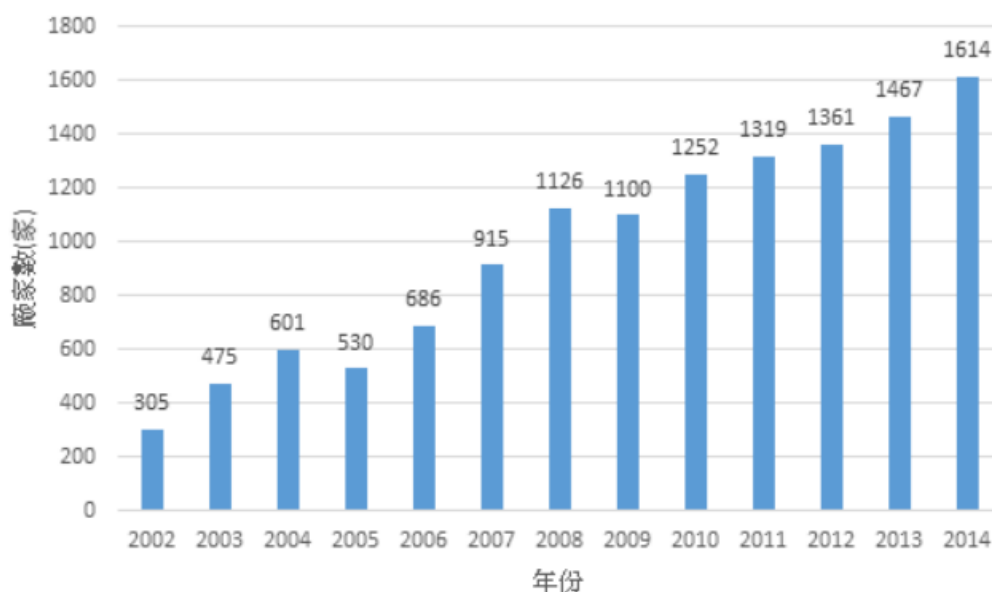


圖 2 台灣資源再生產業廠家數趨勢圖

在循環經濟的概念下，回收再利用是不可或缺的一環，然而，廢棄物的種類繁多，回收技術層次甚高，除了平日裡常見的資源回收外，稀有資源的回收再利用更備受重視。我國已停止開採礦產一段時日，金屬礦產資源有極大比例仰賴進口，為減少原物料

價格對產業的衝擊，台灣在金屬資源回收技術上早有發展，對於金屬資源的回收率在世界名列前茅；搭上循環經濟的順風車，政府大力扶植綠能產業發展，並推行各項政策以實踐循環經濟，科技產業衍生之廢棄物及過時的科技產品有了新去向，業者紛紛看向其中蘊藏的城市礦產與價值，再創無限商機。

《華爾街日報》於 2016 年 5 月 17 曾發表一篇報導「台灣：全球的垃圾處理天才」，表示台灣雖為 2,350 萬人口密度的國家，但資源回收率根據台灣環保署的統計，2015 年資源回收率達到 55%，可媲美奧地利、德國及南韓等先進國家，也遠高於美國的 35%。麥肯錫顧問公司、世界經濟論壇與艾倫·麥克阿瑟基金會合力分析出的報告指出，循環經濟可在 5 年內創造 5 億美元的淨收益、10 萬個新工作，並避免 1 億噸的材料浪費；此外還有讓全球每年省下 1 兆美元材料成本的潛力、在全球的重新製造業、歐洲的回收產業超過 100 萬的潛在就業機會[7]。

其中，根據我國行政院環保署所公布我國的垃圾回收成果便提到，於 2017 年廢電子電器及廢資訊物品回收量約 13.7 萬公噸，經處理後可產出鐵、鋁、銅、玻璃及塑膠物質等資源化物質，資源回收再利用比率達 83%[8]。

為了拿取蘊藏在高科技廢棄物中的珍貴資源，廢棄物進入資源再生廠商後，將進行一系列的處理，才能將「垃圾變黃金」；「金」是最普遍被提煉的金屬，因其價值高，且非常保值，通常為再生金屬資源的首選，另有銀、銅、鈮和鉑等有價金屬也頗為常見。銻、鉍、銳、鈷等極稀有資源，因含量低，數量少，僅少數廠商進行回收，且回收率也不高，因此目前較多為一定純度的下腳料或不良品再精煉，或者廢棄靶材再製。

上述金屬資源在回收過程中可能須經過拆解、粉碎、分選、酸洗、熔蝕、電析、焚燒、精煉等繁複的程序，再生業者會因來料的不同而選擇不同的製程；以下說明提煉貴金屬中不同的製程：

一、 物理處理：

大型混和固體的廢棄物（如：大型電路板、手機、液晶電視、冰箱....）會先將其拆解並分門別類後進行破碎，經分選篩選出金屬及非金屬，最後將粉碎過後的金屬物料留下，進入化學處理或焚燒[9]。

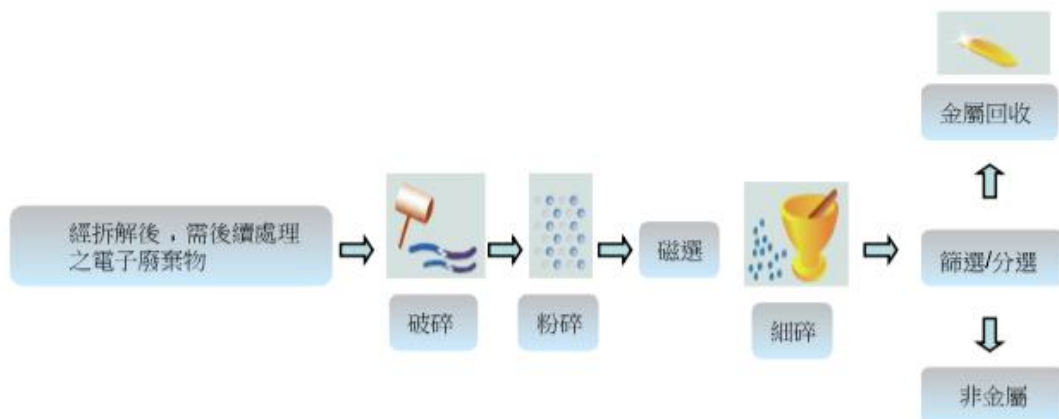


圖 3 物理處理流程

二、 化學處理（濕式處理）

（一）電解回收

電解回收是以電化學反應為基礎，藉由彼此元素電位的差異和電力的給予，將廢水中的目的金屬離子還原成陰極；同時陽極亦可進行有機污染物或氧化物的電解反應 [9-10]。

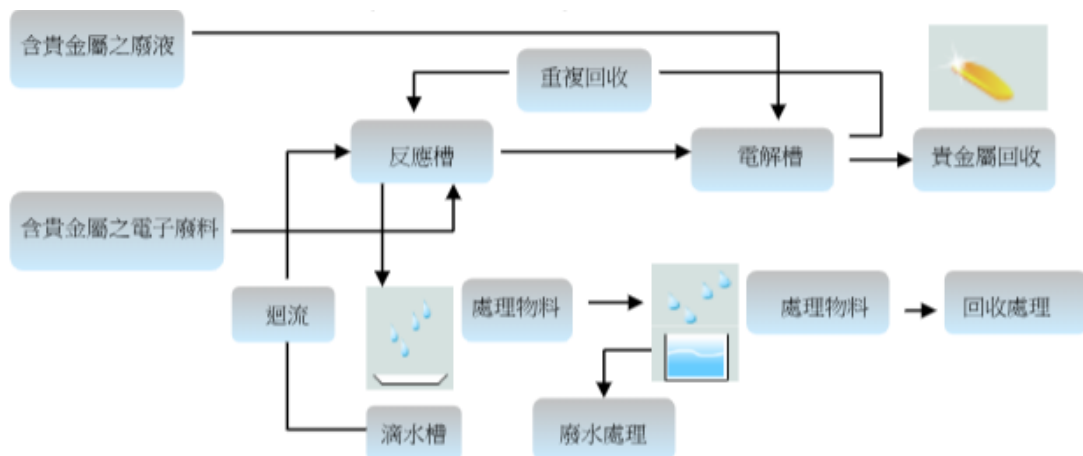


圖 4 電析處理流程圖

（二）酸溶處理

酸洗法是將含有貴金屬的廢棄電路板用強酸進行溶解，常見的溶解液為王水、鹽酸、硝酸、硫酸及氫氟酸等，取得貴金屬的剝離沉澱物，再分別將其還原為貴金屬產品[11]。

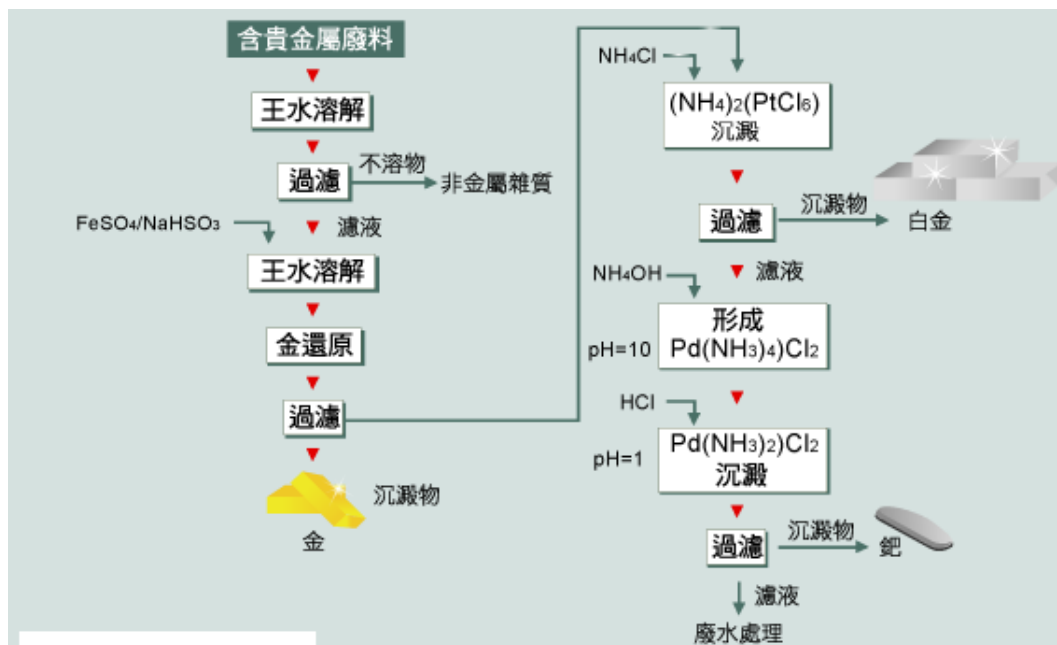


圖 5 酸洗處理流程

上述廢棄物處理過程中，可能導致勞工暴露於有害物質：物理處理部分，可能於拆解、破碎、分選及粉碎的過程中導致金屬粉塵溢散置空氣中，使勞工吸入空氣中的金屬粉塵；在化學處理製程中，使用大量的特殊化學品，且設施非完全密閉，可能使勞工吸入一定濃度之特殊化學品，例如無機酸及氰化物等，若未妥善佩戴合適的呼吸防護具及眼部、臉部與皮膚防護具（衣），即會對勞工健康產生不良影響。

第二節 可能金屬暴露危害

含金屬之事業廢棄物及產品廢棄物組成繁雜，常見金屬元素包含金、銀、銅、錫、鈷、鎳、鋅、錳、鎘、鉻、鉛等，以下為國家衛生研究院-國家環境毒物研究中心對於有危害之金屬危害敘述[12]：

一、 銀：

銀是天然的元素，通常被用來製造珠寶、銀器、電子產品與牙齒的填充物上，長時間暴露在高濃度的銀中會產生銀中毒的症狀，它會使暴露者的皮膚或身體組織轉變為藍灰色，在低濃度的暴露情況下，銀會沉澱在皮膚或其他身體部位中。若是暴露在含有高濃度的銀的空氣中會導致呼吸方面的問題、刺激肺部與喉嚨及胃痛等問題；皮膚接觸到銀，在某些人身上可能會產生中等程度的過敏反應，如起疹子、腫脹及發炎等情形。動物研究中顯示，若是餵食動物銀，會使銀沉澱在皮膚中。有一個小鼠研究中顯示若在動物的飲用水中添加銀，會降低老鼠的活躍度。沒有研究顯示銀會影響人類的生殖能力與發育問題

二、 銅：

每個人每天都會吸收到少量的銅，因為銅對健康來說是必需物質，但高濃度的銅卻會造成有害影響。吸入高濃度的銅會導致鼻子及喉嚨刺激。攝入高量的銅會導致噁心、嘔吐、跟腹瀉。甚至會造成肝、腎損害或死亡。銅在人體中都可以被找到，像是頭髮、指甲、血液、尿液及其他組織。這些樣本中含有高濃度的銅，可顯示出曾經暴露在比正常濃度高的銅。美國國家環境保護署（Environmental Protection Agency, U.S. EPA）已經判定銅並非人類致癌物。

三、 鎳：

有些對鎳過敏的人會因暴露於鎳導致哮喘發作。當飲食用的食物和水，或是呼吸而吸入的塵埃含有鎳時，有些過敏的人會產生反應。在鎳的提煉廠或加工廠工作的人，就有慢性支氣管炎和肺功能下降的經驗。這些人吸入的鎳含量遠高於普通環境中的濃度。目前已知，大鼠和小鼠吸入含鎳化合物會傷害肺與鼻腔。食用或飲用大劑量的鎳會導致狗和大鼠產生肺部疾病，以及對胃、血液、肝臟、腎臟和大鼠及小鼠的免疫系統與牠們的繁殖和生長產生影響。當工人在鎳的提煉廠或加工廠工作時，吸入的灰塵含有高濃度的鎳化合物，會導致肺癌和鼻竇癌。美國衛生與公共服務部（Department of Health and Human Services, DHHS）已合理地猜測鎳金屬是一種人類致癌物，而鎳化合物已被認定為是已知的人類致癌物。國際癌症研究中心（International Agency for Research on Cancer, IARC）也認定有些鎳化合物是人類的致癌物，而金屬鎳有可能對人類有致癌性。

至於美國國家環境保護署（Environmental Protection Agency, U.S. EPA）也認定鎳提煉廠的灰塵和鎳的亞硫化物皆為人類致癌物。目前可用於檢測鎳的方法是血液、糞便和尿液的量測。而工人暴露在易溶於水的鎳化合物，其尿液所檢測的鎳含量高於暴露在難溶於水的鎳化合物中。這意謂著，比起難溶於水的鎳化合物，可以更簡單地了解你是否曾暴露於易溶於水的鎳化合物。鎳的檢測無法預測鎳暴露造成潛在的健康影響。

四、 鈷：

暴露於鈷的方式可以經由吸入、食入或飲用，甚至是礦物開採而被暴露。暴露於高濃度的鈷會導致肺與心臟的影響以及皮炎的產生。動物暴露高濃度鈷對肝臟和腎臟有影響。國際癌症研究中心（The International Agency for Research on Cancer, IARC）認為對人體是可能的致癌物質，會造成細胞中的基因物質改變。在動物實驗中也觀察到暴露非放射性鈷會導致新生兒缺陷。暴露於放射性鈷也會造成發育方面的影響。體內血液及尿液中鈷的含量可計算出暴露了多少鈷，但無法預測是否會有什麼樣的健康影響。

五、 鉻：

三價鉻是幫助人體使用醣分、蛋白質及脂肪的必須營養素。吸入高濃度的六價鉻會造成鼻粘膜疼痛、鼻塞、流鼻水及呼吸問題，如氣喘、咳嗽、呼吸短淺與喘息。這些影響會因空氣中不同的鉻化合物與濃度而不同，三價鉻造成影響的濃度較六價鉻低的多。至於動物食入六價鉻後主要的健康問題為胃及小腸的疼痛與潰瘍和貧血；三價鉻則毒性較小且也沒有跡象顯示造成這些問題。實驗室動物暴露於六價鉻後會造成精子損傷與傷害男性生殖系統。皮膚接觸到六價鉻會造成潰瘍，有些人對六價鉻或三價鉻極度敏感，暴露後會產生嚴重的紅腫與皮膚過敏症狀。美國衛生與公共服務部（The Department of Health and Human Services, DHHS）、國際癌症研究中心（The International Agency for Research on Cancer, IARC）與美國國家環境保護署（Environmental Protection Agency, U.S. EPA）也確定六價鉻為人類已知的致癌物質。血液與尿液中濃度過高的鉻可以指出曾暴露在鉻中，然而增加的鉻濃度無法預測暴露可能造成的健康影響。

六、 錳：

錳雖非必要營養素，但還是需要每天少量攝取以維持健康。高濃度錳暴露的工人最常見的健康問題是神經系統的影響，這些對人體造成的影響包括行為上的改變和其他神經系統疾病，例如：肢體動作變得緩慢而笨拙。以上這些混和的臨床症狀，若越變越嚴重就會被稱為「錳中毒」。在一些工作環境中低濃度錳暴露工人也觀察到其他較輕微的神經系統症狀，像是手部動作變得遲緩。另外，觀察到動物被餵食高劑量錳後，其神經系統及生育能力都會受到影響。而目前已有一些檢測方法可以測量血液、尿液、頭髮或糞便中的錳含量。由於過量的錳通常會在幾天內排出體外，因此普通的檢測方法沒有辦法追蹤過去的暴露量。

七、 鋅：

吸入大量的鋅（如：粉塵或煙霧）可能會導致一個短期特殊的疾病，稱為金屬煙熱。但我們並不知道吸入高濃度的鋅會有什麼長遠的影響。在兔子、天竺鼠和老鼠的皮膚塗上低濃度的醋酸鋅和氯化鋅會導致皮膚過敏，而這很有可能也會發生在人類身上。美國衛生與公共服務部（Department of Health and Human Services, DHHS）和國際癌症研究中心（International Agency for Research on Cancer, IARC）並未將鋅歸類為具有致癌性。美國國家環境保護署（Environmental Protection Agency, U.S. EPA）根據在人類和動物研究上不完善的數據，已認定鋅是不能被歸為對人類具有致癌性。目前有檢測可測量血液、尿液、頭髮、唾液和糞便中的鋅。血液中有高濃度的鋅表示有攝入高含量的鋅或鋅的高暴露。

八、 錫：

錫為一軟性、白銀色，且不溶於水之金屬。可於黃銅、青銅、白鐵及一些低溫焊接材料中發現錫的存在。金屬錫常被用作食物、飲料、噴霧劑瓶罐之內襯錫，可與其他化學物質結合形成化合物，錫可經由自然程序或人類活動，如：採礦、煤炭及石油燃燒、錫化合物之製造或使用，而將其釋放於環境中。金屬錫被釋放於環境中後，會很快地形成無機錫化合物。研究顯示攝入大量的無機錫化合物會引起胃痛、貧血、肝及腎的問題。某些有機錫如：三甲基錫、三乙基錫化合物，會干擾腦及神經系統的運作方式。二

丁基錫、三丁基錫被發現會影響動物之免疫系統。人類短時間暴露於有機錫化合物被觀察到可能刺激眼睛及皮膚，也可能造成神經系統方面的問題；而暴露到高劑量可能會致命。

九、 鎘：

吸入高劑量的鎘會造成嚴重的肺臟損害。食入或飲用到含有高劑量鎘的食物或水，會嚴重刺激腸胃，導致嘔吐和腹瀉。長時間地暴露於含低劑量鎘的空氣、食物或水，會造成鎘累積於腎臟並可能導致腎臟疾病的產生。其他的長期影響，則是肺的損傷和骨骼脆弱。美國衛生與公共服務部（**Department of Health and Human services, DHHS**）認定鎘以及鎘化合物對人類而言是已知的人類致癌物質。且鎘可經由血液、尿液、頭髮或指甲的檢測而量測出來；檢測尿液中含鎘量可以準確反映身體內的含鎘量。血液中含有鎘表示近期內有暴露到鎘。尿液中含有鎘則各表示最近或過去曾經有過鎘的暴露。

十、 鉛：

無論是經由吸入或食入，鉛對人體的影響都是相同的，且幾乎對人體內所有的器官和系統都會有影響。鉛的毒性主要是影響神經系統，成人及孩童皆然。成人若長期暴露於鉛會導致進行神經系統功能測試時，有些項目的檢查結果會下降，此外，鉛也會導致手指、手腕或腳踝虛弱。鉛暴露會使人們的血壓有些許的升高，特別是中老年人，也會引起貧血；高濃度的鉛暴露，無論是大人或小孩都會造成腦部以及腎臟的嚴重損害，甚至造成死亡；懷孕中的婦女若暴露到高濃度的鉛將可能造成流產；而男性暴露到高濃度的鉛則會損害製造精子的器官。目前並沒有確切的證據可以證明鉛會導致癌症。從動物實驗中得知，大鼠和小鼠餵食高劑量的某種鉛化合物會形成腎臟腫瘤。在致癌物訂定方面，美國衛生與公共服務部（**Department of Health and Human Services, DHHS**）認定鉛及其化合物可以合理預期為致癌物，美國國家環境保護署（**Environmental Protection Agency, U.S. EPA**）訂定鉛為人類可能致癌物。國際癌症研究中心（**International Agency for Research on Cancer, IARC**）已將無機鉛認定為可能的致癌物質，但對於有機鉛化合物則尚無足夠的資料可以將其認定其為人類致癌物。血液檢測可以測出血中鉛的含量，並可估計近期鉛的暴露量。

十一、 銻：

銻是一種具韌性、有光澤、比鉛（lead）還柔軟的銀白色金屬，具有熔點低、沸點高、低電阻、常溫中可與氧緩慢反應形成氧化膜、抗腐蝕、可通過可見光而反射紅外光等特性，廣泛應用於國防軍事、航空航太、核工業和現代資訊產業等高科技領域。銻與銻的化合物對健康的潛在不良影響包括肺水腫、急性肺炎以及可能對骨骼與腸胃道的傷害。2 週與 13 週的試驗發現銻錫氧化物與氧化銻均會造成大、小鼠肺臟損傷，但小鼠肺臟損傷程度低於大鼠，並且僅大鼠產生肺泡壁纖維化。有幾個在工作場所中暴露銻的案例，發現工人肺部間質改變，並且肺功能降低 22 %，國際癌症研究中心將磷化銻列為人類可能的致癌物（Group 2A）。

表 4 金屬粉塵容許暴露標準

物質名稱	勞動部-PEL (mg/m ³) [13]	OSHA-PEL (mg/m ³) [14]	NIOSH-REL (mg/m ³) [15]	ACGIH-TLV (mg/m ³) [16]
鈷	0.05	0.1	0.05	0.02
銀	0.01	0.01	0.01	0.01
鎳	0.05	0.005	-	0.01 0.002 (respirable)
鉻 (金屬)	1	1	0.5	0.5
鉻 (六價鉻)	0.05	0.005	0.0002	0.0002 (inhalable)
銅	1	1	1	1
鎳	1	1	0.015	1.5 (inhalable)
鉛	0.05	0.05	0.05	0.05
鋅 (氧化鋅)	5	5 (respirable)	5	2 (respirable)
錫	2	0.1	0.1	0.1
錳	5	5	1	5
銻	0.1	0.1	0.1	0.1

第三節 可能特定化學物質暴露危害

一、 硫酸：

三氧化硫若與水反應會產生硫酸。接觸到硫酸會造成皮膚灼傷，若直接吸入硫酸更會腐蝕牙齒和造成呼吸道的不適。飲入硫酸會使口腔、喉嚨和腸胃灼傷，嚴重可能導致死亡。若接觸到眼睛試圖去沖洗更會加速灼傷。研究顯示，在工作期間吸入大量硫酸的人得到咽喉癌的機率有升高趨勢，不過，這些人當中也有很大部分本身是吸菸者且暴露於其它化學物和酸中。

二、 硝酸：

硝酸不論濃稀溶液都有氧化性和腐蝕性，因此對人很危險，僅濺到皮膚上也會引起嚴重燒傷。皮膚接觸硝酸後會慢慢變黃，最後變黃的表皮會起皮脫落（硝酸和蛋白質接觸後，會導致黃蛋白反應而變性）。此外，硝酸受到光照反應釋出會釋出有毒的 NO₂，懷孕的動物暴露到氮氧化物，對發育中的胎兒造成毒性。氮氧化物也造成動物細胞中基因的改變。但我們尚未確定在人類身上，是否氮氧化物的暴露會造成危害

三、 鹽酸：

鹽酸任何接觸到的組織都會造成疼痛及腐蝕；短暫低劑量的暴露會造成喉嚨疼痛；較高劑量的暴露會造成呼吸急促、支氣管收縮、皮膚藍斑、肺部累積液體甚至死亡；暴露於更高劑量則會造成喉嚨腫脹及抽蓄甚至窒息。有些人會對氯化氫產生發炎反應，這樣的情況稱為反應性呼吸道功能障礙症候群（Reactive Airways Dysfunction Syndrome, RADS），一些具刺激及腐蝕性的物質會造成氣喘。依據不同的濃度，氯化氫可以從中度刺激到嚴重的侵蝕眼睛及皮膚，長時間暴露到低劑量也會造成呼吸問題、眼睛及皮膚的疼痛及牙齒的變色。吞下鹽酸會對嘴唇、口腔、喉嚨、食道及胃部造成嚴重的腐蝕傷害。

四、 氫氟酸：

氟是一種自然生成且帶有刺鼻氣味的黃綠色氣體，它會與金屬結合形成氟化物，

氟也會與氫氣結合形成一種無色的氣體－氟化氫，溶於水後則形成氫氟酸。氫氟酸常被用來蝕克玻璃及金屬。氟化氫氣體會與雲、霧中的雨水結合形成氫氟酸，並降至地面。

氫氟酸是一種親水和腐蝕性的刺激物，高劑量暴露於氫氟酸會對健康造成危害，會刺激皮膚、眼睛及呼吸道，通常在發生工安意外時較容易接觸到高劑量的這些物質，且氟化氫對心臟也有危害。

五、 氰化物：

氰化氫是一種無色，帶有淡淡苦杏仁味的氣體；氰化鈉和氰化鉀兩者也都是會於潮濕的空氣中散發苦杏仁味的白色固狀晶體。氰化物和氰化氫常用以電鍍、冶煉、製造有機化合物和塑膠品、製成相片、薰蒸船隻以達到滅疫效果，同時也會用在一些採礦的過程。暴露在高劑量下的氰化物會傷害大腦和心臟，也有可能導致休克和死亡；低劑量下有可能造成呼吸困難、心絞痛、嘔吐、血壓改變、頭痛和甲狀腺腫大。

表 5 特定化學物質容許濃度

物質名稱	勞動部-PEL (mg/m ³) [13]	OSHA-PEL (mg/m ³) [14]	NIOSH-REL (mg/m ³) [15]	ACGIH-TLV (mg/m ³) [16]
鹽酸	7.5 (高)	7 (ceiling)	7 (ceiling)	2.98 (ceiling)
硝酸	5.2	5	5	5.2
硫酸	1	1	1	0.2
氟化氫	2.6	2.5	2.5	0.41
氰化氫	11	10	4.7	4.7 (ceiling)

表 6 氰化物容許濃度

物質名稱	勞動部-PEL (mg/m ³) [13]	OSHA-PEL (mg/m ³) [14]	NIOSH-REL (mg/m ³) [15]	ACGIH-TLV (mg/m ³) [16]

氰化物	5	5	-	-
-----	---	---	---	---

第四節 危害暴露研究文獻回顧

一、 含金屬廢棄物回收危害

先進國家流至發展中國家的二手電子電氣設備和電子廢棄物數量龐大，卻僅有 20% 被妥善處理。全球有 80% 的電子廢棄物在尼日利亞、加納、巴西、墨西哥、中國、印度、越南和菲律賓等發展中國家被回收。大多數的電子廢棄物回收過程都在戶外進行（尤其在拆解和燃燒）。在回收過程中，會釋放大量有害物質，且無任何廢氣捕集或處理裝置。這些物質（如金屬）會釋放至環境中，造成環境污染。當金屬釋出至地下水、地表、沉積物、土壤、水中生物、空氣及植物時，將造成多處汙染。這些金屬隨後進入食物鏈，在人體和生物中累積，影響人類健康[17]。

一研究在越南北部某電子廢棄物回收廠檢測多個環境暴露源（花園土壤、地面粉塵、食物、空氣）中 6 種金屬（鎘、銅、錳、銻、鉛、鋅）的含量。其中花園土壤中的銅、鉛、鋅含量分別比越南自然資源環境部規定的住宅土壤指標高出 11 倍，5 倍和 4 倍[18]。

表 7 越南北部電子廢棄物回收廠花園土壤、地面粉塵、食物、空氣樣本中的金屬成分

	單位	中位數	範圍	中位數	範圍	中位數	範圍
		鎘		銅		錳	
土壤	mg/kg	1.70	<0.03-3.54	771	61.9-4890	550	328-837
地面粉塵	mg/kg	2.53	<0.05-4.25	475	220-2790	479	462-575
土壤標準	mg/kg	5		70			
食物	mg/kg	0.00429	0.00247-0.0222	0.270	0.218-11.8	7.42	3.62-11.7
空氣中	ng/m ³	1.7	1.3-2.1	18	6.4-42	30	24-37
空氣中標準	ng/m ³	5					
		鉛		銻		鋅	

土壤	mg/kg	580	69.8-1980	16.9	2.43-157	860	109-1720
地面粉塵	mg/kg	556	252-968	19.9	15.1-106	1079	539-1540
土壤標準	mg/kg	120				200	
食物	mg/kg	0.0203	0.00816- 0.0624	0.00074	0.00026- 0.00258	20.8	9.27-26.6
空氣中	ng/m ³	36	34-48	8.5	6.9-11	120	97-140
空氣中標準	ng/m ³	500					

電子廢棄物種類繁多，組成複雜，包括外殼、驅動零件或馬達塑膠，大多數的回收業者，經過基本拆解及分類後，以貴金屬的提煉及純化為回收的目標，以廢棄電路板為例，每噸廢電路板中含金量達到 1000 g 左右。日本橫濱金屬公司對報廢手機成分進行分析發現，平均每 100 g 手機機身中含有 14 g 銅、0.19 g 銀、0.03 g 金和 0.01 g 鈮；另外從手機鋰電池中還能回收金屬鋰[19]。廢棄物在回收過程中經過粉碎、加熱等過程時，粉塵及揮發性的有機物質溢散到空氣中，以致處理作業人員產生吸入性的危害暴露。

在一電子廢棄物回收處理工廠之健康風險評估研究中，分別對工廠內 8 個區域(辦公室、修理、拆解、儲存、拆焊、裝載、電纜切碎、化學廢料處理)進行空氣、地面粉塵及表面灰塵採集，並對其金屬成分與含量進行分析，結果顯示，拆解區域的癌症風險大於美國環保署訂定之一般人可接受範圍，對該區域工作人員可能造成極大的健康危害[20]。

另一項研究對於非洲迦納電子廢棄物回收廠工人的工作環境及個人呼吸帶進行調查，合計共 5 位受試者。結果顯示，鋁、銅、鐵、鉛和鋅的水平高於 ACGIH 暴露限值 (TLV) [21]。

表 8 非洲迦納電子廢棄物回收廠金屬暴露

作業勞工 編號	鋁 (mg/m ³)	銅 (mg/m ³)	鐵 (mg/m ³)	鉛 (mg/m ³)
1	5.5	1.2	6.7	0.98

2	6.2	BDL	17	BDL
3	6.5	BDL	5.6	BDL
4	BDL	BDL	8.9	BDL
5	BDL	BDL	7.4	BDL
ACGIH TLV in mg/m ³	1.0	1.0	5.0	0.05

BDL：低於偵測極限

某一研究檢測了中國南部電子廢棄物回收區、農村及城市中的室內粉塵，以了解有機和重金屬污染物之濃度和分布。除了鋅以外，電子廢棄物回收區的粉塵樣本含量均高於其他採樣區域。重金屬的預估每日攝入量（Estimated Daily Intakes, EDI）排序為 Pb > Cn > Zn > Cr > Cd。鎘的 EDI 分別為農村和城市地區的 11.8 和 19.8 倍[22]。

表 9 電子廢棄物回收區與其他區域之成人每日攝入之室內粉塵污染物

		平均攝入 (ng/kg bw/day)			高攝入 (ng/kg bw/day)		
區域	污染物	平均	5 th	95 th	平均	5 th	95 th
電子廢 棄物回 收區	Cd	15.7	4.72	33.1	39.2	11.8	82.7
	Pb	629	193	1390	1570	484	3470
	Cu	425	325	499	1060	812	1250
	Cr	53.9	7.54	138	135	18.8	345
	Zn	97.3	60.0	203	243	150	507
農村區	Cd	1.33	0.48	3.84	3.32	1.21	9.60
	Pb	124	41.8	248	311	104	621
	Cu	160	67.5	367	401	169	918
	Cr	9.35	3.88	20.2	23.2	7.38	50.6
	Zn	80.7	41.1	217	202	103	543
城市區	Cd	0.79	0.05	1.63	1.97	0.12	4.07
	Pb	67.9	28.2	128	170	70.6	320

	Cu	74.7	17.0	131	187	42.6	327
	Cr	13.2	0.38	35.6	33.0	0.95	88.9
	Zn	57.3	50.6	63.2	143	126	158

進行作業環境監測外，電子廢棄物處理過程對作業人員的暴露，亦可以其他途徑中得到佐證，一項研究使用頭髮作為暴露程度的生物標記物，分析回收工人的毛髮成分與對照組比較，研究結果顯示頭髮內元素含量 $Pb > Cu > Mn > Ba > Cr > Ni > Cd > As > V$ ，其中 Pb 、 Cu 和 Cd 的含量皆顯著高於對照組[23]。

瑞典三家電子廢物回收工廠的暴露調查研究中，對 55 名回收工作人員和 10 名辦公室工作人員接觸 20 種潛在金屬的情況進行分析，除了個人及區域採樣外，亦測量全血、血漿、尿液中的金屬濃度，研究結果顯示，多數廢棄物回收工作人員相較辦公室工作人員高出 10 至 30 倍，且回收工作人員的血液，尿液和血漿中的鉻、鈷、銻、鉛和汞的濃度與辦公室人員相比顯著較高。統計分析中提及，銻、銻、鉛、汞和鈳的濃度在可吸入性粉塵濃度與血液、血漿或尿液中的水平之間具有相關性[24]。

除了金屬所帶來的影響外，電子廢棄物回收及提煉製程中，常使用一些有機物助於提煉、分解純化金屬，電子廢棄物本身也可能蘊含有機物的存在，我國勞動部一項職業暴露研究顯示，廢電子電器拆解回收業作業區之多溴二苯醚（PBDEs）濃度顯著高於行政區域（如表 10），且勞工血中多溴二苯醚（PBDEs）濃度皆高於國外文獻各職業族群之血液中 PBDEs，在尿液檢驗中也顯示多項的異常 [25]。

表 10 廢電子電器組、廢資訊物品組及行政人員組三組勞工血液及空氣 PBDEs 總濃度分布

	廢電子電器組	廢資訊物品組	行政人員組	p 值
血液中 Total PBDEs (ng/g-lipid) ^a	(N=15) 39.22±16.77 (16.08-77.16)	(N=13) 128.1±100.78 (29.92-418.5)	(N=8) 48.11±33.27 (18.32-126.6)	0.002*
空氣中 Total PBDEs (ng/m ³) ^a (不含 BDE-209)	(N=12) 56.28±25.00 (14.96 -100.9)	(N=8) 31.03±16.63 (16.88 -67.43)	(N=8) 16.28±9.83 (7.38 -38.21)	0.002*

a：（獨立）雙樣本中位數差異檢定（Wilcoxon rank-sum test）

*: $p < 0.05$ ，具有顯著差異

一項研究調查非洲當地大型電子廢棄物處理廠工人暴露於戴奧辛（PCDD/Fs）以及多氯聯苯（PCBs）之情形，以年齡配對後之男性工作者與郊區居民作為對比，各項基本資料標準化後結果，血液檢驗結果 PCDF 同源物在暴露的個體中顯著高於未暴露的個體，暴露組的濃度比對照組高約四倍，研究中也提到，在 EWRS 工作 2-10 年的年輕男性（19-28 歲）中發現最高的 PCDD/F 水平，且血液中的濃度與工作時間有很高的相關性，顯示電子廢棄物處理業與戴奧辛（PCDD/Fs）以及多氯聯苯（PCBs）的關聯 [26]。

對於女性工作者而言，電子廢棄物回收過程產生之有機化合物，可能造成生理上的變化，一項研究調查越南三間電子廢棄物處理工廠的環境及附近女性居民母乳的成分，結果顯示，電子廢棄物處理廠之 PBDEs 濃度水平高於對照組，且生活在越南電子垃圾廢棄物處理廠附近的婦女母乳中存在大量 PBDEs 積累，可能是通過吸入粉塵而非飲食攝入而導致，說明電子廢棄物回收場與 PBDEs 之間的關聯性 [27]。

二、 含金屬廢棄物回收健康影響及案例

電子廢棄物處理回收過程，使有害物質散佈在環境中，造成工作者及附近居民之暴露，也可能因此產生對健康的不良影響，研究指出，鉛、鎘及鉻存在於電子廢棄物回收場中，也擴散至附近區域，居住在電子垃圾回收站附近的孕婦和幼兒可能會受到胎兒和兒童神經發育的干擾 [28]。在表 11 中顯示電子廢棄物中可能潛在的金屬及對健康的危害敘述 [29]。

表 11 潛在污染物及其職業健康危害

潛在的汙染物	職業健康危害
聚氯乙烯的戴奧辛及呋喃	✓ 露天燃燒塑料會產生戴奧辛及呋喃 ✓ 導致生殖及發育問題；免疫系統損害；干擾賀爾蒙

鉛 (Pb)	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 導致中樞和末梢神經系統、血液系統及腎臟損害 ✓ 影響兒童大腦發展
鉍 (Be)	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 致癌 (肺癌) ✓ 吸入煙煙及粉塵引起慢性鉍病或鉍中毒 ✓ 皮膚疾病如疣
鎘 (Cd)	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 對人類健康有不可逆反應的毒性 ✓ 累積於腎臟及肝臟 ✓ 導致神經損傷 ✓ 畸形
汞 (Hg)	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 大腦的慢性損傷 ✓ 魚類生物累積引起的呼吸道及皮膚疾病
六價鉻 (Cr VI)	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 氣喘性支氣管炎 ✓ DNA 損傷
鋇 (Ba)	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 長期暴露造成： 肌肉無力；對心臟、肝臟及脾臟損傷
溴化阻燃劑 (BFR)	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 破壞內分泌系統

在一項回顧研究中統計 23 項中國東南部電子廢棄物作業人工作者之相關研究，暴露於電子廢棄物與身體健康檢查結果（包括甲狀腺功能、生殖健康、肺功能、生長和細胞功能改變）之間具有相關性，病例中提及電子廢棄物工回收作業人員的肺功能、甲狀腺功能下降，及附近居民的血液、尿液之有害物水平高於一般民眾，說明電子廢棄物回收作業對人體健康的影響[30]。

重金屬暴露的種類和劑量會對人類健康產生不同影響，尤其是對於兒童而言。例如，鉛暴露會導致神經蛋白自體免疫，包括髓鞘蛋白和酸性神經膠質纖維蛋白，藉此推斷，鉛可以藉由增加神經系統蛋白的免疫加劇神經性疾病。鎘暴露被證實由低分子蛋白或是酶的排泄增加和腎小球濾過率（GFR）降低導致腎臟病變，初徵通常腎小管的功能障礙延續發展為更嚴重的腎臟疾病。甲基汞（MeHg）對發育中的大腦的毒性在許多

研究中被證實，像是對神經傳導介質系統的影響，氧化的誘發和破壞微血管及鈣在細胞中的體內平衡。此外，數據顯示低濃度的甲基汞可抑制神經幹細胞的神經元分化。流行病學和動物模型數據顯示，身體受重金屬影響的系統有呼吸系統、心血管系統、神經系統、免疫系統、骨骼系統和泌尿系統[31]。

三、 金屬粉塵危害流行病學資料

在職業上暴露於金屬粉塵的對健康產生影響的案例很多，韓國一項病例對照研究顯示，暴露於金屬粉塵的勞工與特發性的肺部纖維化 (Idiopathic Pulmonary Fibrosis, IPF) 有高度相關性[32]，在 Hiroya Terui 等人的研究中也提到，兩名因職業暴露硬金屬粉塵而罹患硬金屬肺病 (Hard metal lung disease, HMLD)，為巨細胞間質性肺炎。硬金屬為硬度高之金屬，例如鎢等金屬。臨床表現像過敏性肺炎，急性或亞急性發作甚至於造成肺纖維化) 的工人，暴露程度大幅降低後一年，肺部功能得到明顯的改善[33]，另一項文獻指出，硬金屬肺病可能與鎢碳 (WC) 或鈷有關[34]。

金屬粉塵不僅造成電子廢棄物回收業勞工的暴露，對於環境及附近的人群也會產生影響，一項研究調查中國東南部一電子廢棄物回收場附近金屬粉塵散佈的情況，顯示鉛、鉻、鎘的濃度與距離工廠遠近成反比，結果也指出，電子廢物處理工廠附近地區兒童每日接觸鉛的劑量高於參考劑量，對該地區兒童造成嚴重的健康影響[35]。

在一評估電鍍工人鉻暴露與癌症之間關係的研究當中發現，顯示出鉻提升了腦腫瘤及惡性淋巴瘤的死亡率；在日本，電鍍工人的鉻暴露為肺癌之癌症因子[36]。

2011 年 11 月對鎳鎘電池廠 992 名工人進行研究，其中鎘暴露工人 749 人，無鎘暴露 243 人。992 名工人同時檢查尿中鎘含量，心電圖 (ECG) 和血壓。隨著工作年數越長，其尿中鎘指數、心電圖異常率和高血壓發生率上升 (OR = 1.11, P < 0.01) 和 (OR = 1.15, P < 0.01)。職業性鎘暴露增加了心電圖和血壓的異常率，從而損害了工人的心血管系統[37]。

一名 29 歲來自金屬塗層和鍍鎳工廠的患者，在沒有任何疾病的狀態下，被耳鼻喉科檢查出鼻軟骨中隔穿孔。分析顯示血清鎳為 31 $\mu\text{g/l}$ ，尿中鎳為 18 $\mu\text{g/l}$ (84.11 $\mu\text{g/g}$ 肌酸酐)。而攝入或吸入鎳通常會導致呼吸問題，如嗅覺敏銳度降低，潰瘍，鼻中隔穿孔或鼻竇腫瘤[38]。

錳已被證實暴露累積會造成相似但不完全相同的帕金森氏症，錳的毒性與多巴胺功能障礙相關；錳暴露亦會抑制心肌收縮、擴張血管誘發低血壓，表示錳對心臟功能造成影響；錳的暴露於北卡羅來納州地下水的濃度之間關係，增加了千分之二嬰兒死亡率；錳可能造成慢性肝病、導致嚴重的肝損傷及錳肝腦病變[39]。

兒童時期升高的 BLL（血鉛水平）與多動、注意力、行為和認知障礙有關。當工作場所鉛粉塵從員工的皮膚、衣服、鞋子和其他個人物品溢散至汽車和家中時，會將污染帶至家中。回收舊電子廢棄物（電子廢料）是一種暴露於發育神經毒性的新來源，包括鉛。2010年6月一名1歲男童與一名2歲女童，在檢查中被認定血鉛升高了 18 µg/dL 和 14 µg/dL。在完成鉛的風險評估後，發現他們父親在一家電子廢棄物回收公司工作，負責粉碎陰極射線管。他在工作時並沒有穿戴個人防護裝備，當他回家時頭髮常有可見性的粉塵[40]。

四、 氰化物健康影響及流行病學資料

氰化物為許多行業廢液的污染物，包括金屬清洗，電鍍，金屬加工，汽車零件製造，鋼鐵回收，採礦，浸出塑料等。在短期接觸時，氰化物會引起呼吸急促，震顫和其他神經系統的影響，長期接觸氰化物會導致體重減輕，甲狀腺功能減退，神經損傷和死亡。皮膚接觸含有氰化物的液體可能會產生刺激和瘡[41]。

氰化物的急性中毒特徵是焦慮，頭暈，心悸，頭痛和虛弱。在嚴重的病例中可見昏迷，抽蓄，腦水腫，肺水腫，心血管衰竭，心臟傳導缺陷，心律不整和代謝性酸中毒。而較遲緩的中毒特徵則是肌張力障礙和錐體束外症候群和小腦症狀。核磁共振顯示蒼白球，殼核，黑質，視丘下核和小腦受損[42]。

一項在美國製銀回收工人報告的回顧性研究中，約 65% 的工人症狀有眼睛刺激，食慾不振，體重減輕，鼻塞，疲勞，皮膚疹，呼吸短促，咳嗽，喉嚨痛，胸痛，心悸和昏厥。接觸 HCN 超過 5 年的工人出現如頭痛，虛弱，味覺和嗅覺改變，喉嚨刺激，嘔吐，流淚，腹絞痛，心臟疼痛和神經不穩的狀況增加。AST（Aspartate Transaminase）是心肌梗塞的標記酶，在工作中婦女發現暴露於 HCN 8 小時/天，AST 和 LDH（Lactate Dehydrogenase, LDH）乳酸脫氫酶都有顯著性的升高，因此認為 HCN 對肝臟有不利的影響[43]。

五、 濕法冶金回收危害

經濟的快速成長、科技的進步和市場上電子廢棄物的淘汰，手機的電子廢物數量一直在增加。在這些零件中，PCB（印刷電路板）含有危險材料和各種有價值的金屬。傳統的火法冶金的工藝中，除了貴金屬的損失外還難以回收一些金屬，像是鋁、鐵、稀有金屬。在過去幾十年中，濕法冶金工藝開始被用來回收廢印刷電路板中的貴金屬及稀有金屬[44]。

與火法冶金工藝相比，濕法冶金工成本較低且減少對環境的影響（例如無有害氣體/粉塵）和高金屬回收率。濕法冶金工藝涉及廢物機械預處理、浸出液浸出金屬、純化浸出溶液和回收金屬。酸浸出通作為提取賤金屬（特別是銅）第一階段。電子廢棄物的金屬酸浸已經廣泛使用各種無機酸和氧化劑（HCl，H₂SO₄，HNO₃/H₂O₂，HClO₄，NaClO）。用於貴金屬回收最常見的浸出液包括氰化物、鹵化物、硫脲和硫代硫酸鹽[45]。

眾所皆知，在鋼鐵生產中使用了大量的水，如洗滌、酸洗、清洗及漂洗等。在這些廢液中，電鍍所排出之酸洗廢液為主要問題，因為高濃度的金屬和酸，使得廢液具有高腐蝕性及污染性。其他污染如氰化物，銅（II），鎳（II），鐵（II），鐵（III），鉻（VI）和某些有機化合物如脫脂溶劑也存在低濃度高毒性之金屬表面處理廢液中。在鋼鐵工業的酸洗和清潔操作過程中產生的酸性和鹼性廢物具有危害風險，可以腐蝕金屬和混凝土污水管道[46]。

六、 無機酸危害流行病學資料

酸洗膏為有毒物質，用於清洗不銹鋼，為氫氟酸（HF~30%）和硝酸（HNO₃~5%）之混合物。當和皮膚接觸，暴露於皮膚，眼睛，胃腸道或呼吸道時，會引起腐蝕性灼傷伴使皮膚變淡黃色、引起水泡和傷口癒合緩慢。攝入後，則會導致伴有灼痛感之腐蝕性灼傷。與眼睛接觸會引發劇烈疼痛，有可能造成無法恢復的傷害。吸入煙霧會導致咳嗽和呼吸困難，並有肺水腫之風險。一名 28 歲男性的病例報告，在意外吸入酸洗膏煙霧後休息時突然發生呼吸困難。患者出現急性肺損傷，隨後發生急性呼吸窘迫綜合症[47]。

氫氟酸是一種親水和腐蝕性的刺激物，可能會導致皮膚和眼睛灼傷，並在吸入時造成上呼吸道和肺部損傷。氫氟酸能夠腐蝕金屬，這促使其廣泛用於半導體工業和電

子顯示器的製造。2012 年 9 月 27 號韓國一工廠發生了氫氟酸外洩，造成其 5 名工人死亡，在其工廠距離 9 公里內一醫院的醫療紀錄，有 1890 名非住院患者及 12 名住院患者接觸氫氟酸。患者主訴呼吸急促、咳嗽、腸胃道症狀、神經系統症狀、喉嚨痛及唇部燒傷[48]。

硝酸為溶解於水的二氧化氮，常被用在化學工業和清潔上。在製造產業，硝酸被作為溶劑和酸洗劑使用於腐蝕和清潔。氧化氮釋放硝酸與環境相互作用造成吸入性傷害。HNO₃ 與不同的氮氧化物共存容易導致一連串急性、次急性、緩慢的相關症狀。依照不同的溫度、濕度、有機材料的接觸，HNO₃ 煙霧含有與各種氮氧化物的混合物，如一氧化氮、二氧化氮（如表 12）。此外，數小時的暴露不會立即發生呼吸困難以及明顯的肺損傷，但會快速發展成為呼吸窘迫症（Acute Respiratory Distress Syndrome, ARDS）[49]。

表 12 硝酸與環境相互作用下所釋放的硝酸與氮氧化物

化合物	水溶性	臨床反應/疾病狀態
硝酸	高	多種呼吸道症狀（煙霧/蒸氣）
		皮膚刺激，腐蝕（液體）
二氧化氮	低	多種呼吸道症狀
		穀倉填充工人肺炎
		阻塞性細支氣管肺炎
一氧化氮	低	多種呼吸道症狀
		肺血管阻力降低
		低血壓
		變性血紅素血症

電鍍中最嚴重的化學污染物為酸霧，會對工人健康造成影響，並產生對環境之破壞。硫酸廣泛用於電鍍裝置，許多人每天都在工作場所接觸到硫酸霧。根據國家職業安全與健康研究所（NIOSH）提供的統計數據，約有 80 萬美國工人暴露於硫酸霧。硫酸為最強無機酸之一。生產過程中，高溫操作導致部分硫酸變成酸霧。當酸霧與皮膚或粘膜接觸時，會引起刺激和發炎，吸入和皮膚接觸後，會影響全身。嚴重程度取決於暴露

濃度及時間。長期吸入硫酸霧會灼傷消化和呼吸器官，如喉、咽、氣管和胃，導致水腫、呼吸道阻塞和支氣管痙攣，其症狀包含流口水、流鼻涕、吞嚥困難、口渴，噁心、咳嗽、腹瀉和腹痛。在一案例中，工人密集接觸高濃度硫酸霧導致危及生命的呼吸系統綜合症。**Goldman** 等人檢查了一名工人的胸部圖像，該工人的臉部被 35% 的硫酸霧損壞。工人肺部充血及發炎，導致肺功能降低，7 年後出現肺氣腫[50]。

另一案例中，一名 27 歲男子死亡前曾接觸硫酸霧。他將濃硫酸倒入排水管內，試圖清除堵塞物。體檢調查顯示，他的嘴和鼻子周圍、左手的前臂和手指尖上都有中度腐蝕性傷害。屍檢發現他呼吸道充血和嚴重的肺水腫。在化學檢測中，他的上呼吸道含有酸和硫酸鹽化合物。死亡原因為清除堵塞排水管時意外吸入強硫酸煙霧[51]。

第五節 工作項目

本研究將透過國內高科技事業廢棄物及產品處理場，進行訪視及問卷調查，了解處理機構的廢棄物來源、種類、回收方式、化學品及防護具使用情形及目標回收項目等，並實施現場環境監測及勞工個人呼吸帶採樣，分析作業場所金屬粉塵及特殊化學品的暴露情況。

- 一、訪視我國可能有金屬粉塵及特殊危害化學品危害之資源再生產業高科技事業廢棄物及產品處理廠作業場所，進行初步暴露調查。
- 二、問卷調查：對資源再生產業金屬回收相關廠商調查製程、勞工人數、作業型態、勞工職業暴露時間與現況作業環境等項目。
- 三、資源再生產業事業單位危害物種（金屬、有機化合物、特定化學物質或粉塵等）及危害特性調查分析。
- 四、資源再生產業事業單位金屬暴露作業環境監測採樣分析。
- 五、資源再生產業事業單位其他危害物暴露狀況調查。

第三章 研究方法及步驟

第一節 研究方法

一、 研究架構

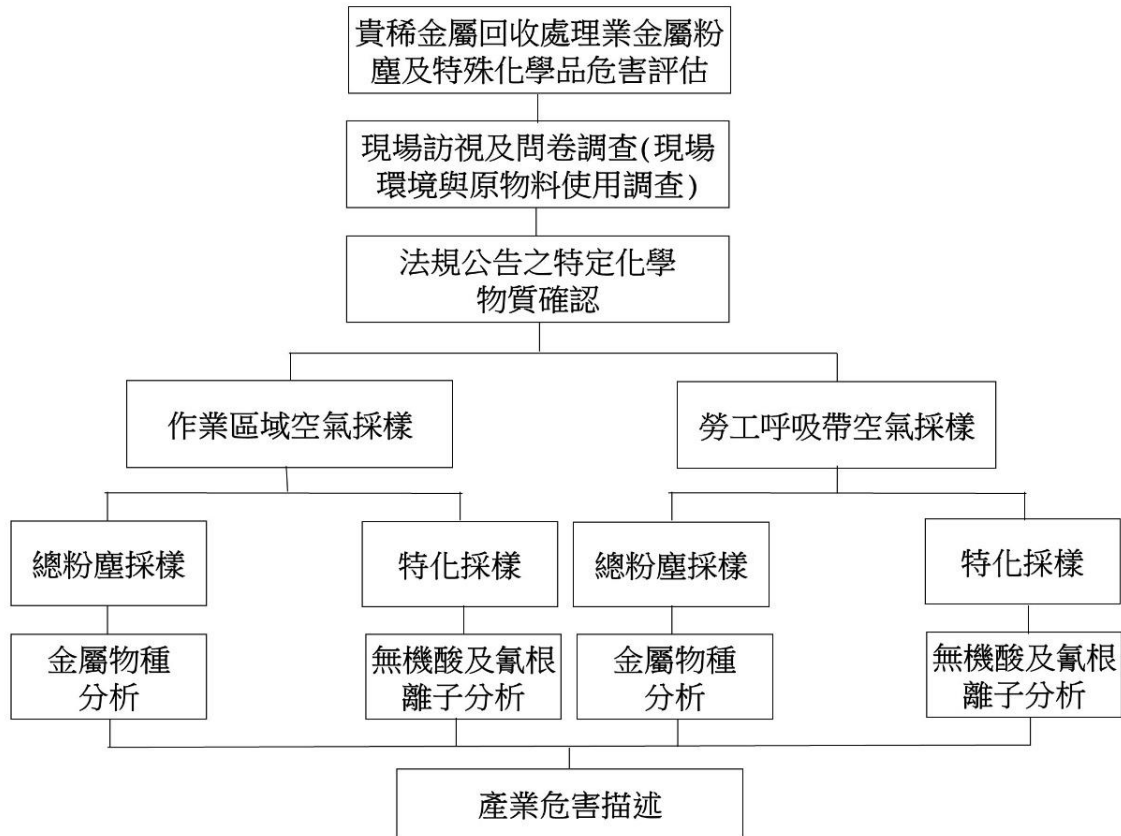


圖 6 研究架構圖

二、 貴稀金屬回收處理業相關產業資料收集

- (一) 對於參與研究之廠商進行背景資料調查，包括產品種類、產量、製程、廠內作業區域配置、員工數、員工年齡、性別、年齡等一般背景資料收集。此部份可透過初次現場訪視等詢問方式完成資料收集。
- (二) 利用資訊網路查詢、收集及整理國外與國內生產作業過程有關貴稀金屬回收處理業作業場所之安全衛生調查結果，並收集相關危害研究成果，以建構此類型工廠中金屬與有機物危害物種類以及金屬及有機物濃度與暴露情形資料。

第二節 作業環境監測

一、 作業環境監測採樣點選擇

依照作業型態及製程將勞工分組，分別對於勞工暴露較多之區域及有金屬粉塵產生之虞者，選定採樣點。

二、 金屬粉塵採樣分析

(一) 三節式濾紙匣採樣前處理：

- 1.採樣前將纖維素酯濾紙（MCE，截取粒徑：0.8 μm ，直徑：37 mm）放入認證之天平室中保持恆溫恆濕（21.5°C，35%）一天。
- 2.以靜電消除器將靜電除去避免靜電影響濾紙重量，再以六位數電子天平秤重並記錄數據，秤重三次取其平均，三次誤差小於 10 μg 。
- 3.將秤重完濾紙及濾紙墊片置入三節式濾紙匣（Filter Cassette, SKC, USA）。
- 4.三節式濾紙匣(Filter Cassette, SKC, USA)用太空管連接高流量採樣泵(Gillian, USA)。
- 5.進行流率校正，調整流率為 2.0 L/min。
- 6.校正完畢後將三節式濾紙匣（Filter Cassette, SKC, USA）以石蠟膜密封，並放入密封盒中以便帶入現場採樣。

(二) 作業環境監測區域採樣：

- 1.固定採樣架。
- 2.整個採樣裝置三節式濾紙匣掛於採樣架上，並設定高度約為 1.5 公尺，接近作業勞工的呼吸帶；將採樣裝置的進氣口朝有害物發生源。
- 3.採樣裝置架設完畢後啟動幫浦進行採樣，並做啟動時間及架設位置之記錄。
- 4.採樣結束後將採樣裝置進氣口以石蠟膜密封以避免人為汙染，且不須將連接各採樣裝置的太空管移除，直接收於儲存箱中，並做時間結束之記錄。
- 5.攜帶進實驗室進行後流率校正。
- 6.將濾紙放入認證過之天平室中保持恆溫恆濕（21.5°C，35%）一天後進行採樣

後秤重。

(三) 作業環境監測個人採樣：

- 1.採樣裝置三節式濾紙匣之進氣口佩戴於衣領，接近作業勞工的呼吸帶；將採樣裝置的進氣口朝向有害物發生源。
- 2.採樣裝置架設完畢後啟動幫浦進行採樣，並做啟動時間及架設位置之記錄。
- 3.採樣結束後將採樣裝置進氣口以石蠟膜密封以避免人為汙染，且不須將連接各採樣裝置的太空管移除，直接收於儲存箱中，並做時間結束之記錄。
- 4.攜帶進實驗室進行後流率校正。
- 5.將濾紙放入認證過之天平室中保持恆溫恆濕（21.5°C，35%）一天後，進行濾紙後秤重。

(四) 濾紙樣本分析：

1.濾紙消化：

- (1)打開濾紙匣，取出樣本與空白樣本，分別放至乾淨的燒杯中。
- (2)加入 5 mL 消化酸溶液及 0.5 mL 雙氧水，蓋上錶玻璃。
- (3)置於加熱板上（120 °C）加熱，直到約剩下 0.5 mL
- (4)加入 2 mL 消化酸溶液，重覆步驟(3)直到溶液澄清。
- (5)移開錶玻璃、用去離子水沖洗至燒杯中。
- (6)升高加熱板溫度至 150 °C，加熱溶液至近乾（約 0.5 mL）。
- (7)加入 2~3 mL 稀釋酸溶液，以溶解殘餘物。
- (8)燒杯冷卻後，將溶液倒入 25 mL 量瓶中。
- (9)用稀釋酸溶液定量至 25 mL。

2.消化完畢後的樣品使用感應偶合電漿質譜儀(ICP-MS)進行元素總量分析，使用標準品為複合式元素標準品。

3.檢量線製作：

- (1)取市售 1000 µg/mL 混合標準溶液或 100 µg/mL 的混合標準溶液，作為檢量儲備溶液。
- (2)加入已知量的檢量儲備溶液於盛有稀釋用酸的 100 mL 定量瓶中，再稀

釋至其刻度，並建立 10 種不同之檢量線濃度。

4.品質管制：

- (1)每隔 10 個樣本，測試一次標準溶液，以檢查儀器狀況是否穩定。
- (2)每 10 個樣本，測試一次添加試驗，亦即添加已知量的檢量標準溶液於空白濾紙上（例如加入 100 μL 的 1000 $\mu\text{g}/\text{mL}$ 鎘標準溶液），經消化後之溶液，以此檢查回收率。

5.試藥：

- (1)濃硝酸：65 % HNO_3 ，超純級，J.T. Baker。
- (2)濃過氯酸：60 % HClO_4 ，分析級。
- (3)消化酸溶液： $\text{HNO}_3/\text{H}_2\text{O}$ ：80/20 (v/v)，將 4 體積的濃硝酸與 1 體積的去離子水混合。
- (4)檢量儲備溶液 (Calibration Stock Solution)：1000 mg/L (或 100 mg/L) 市售單一或混合標準溶液。
- (5)稀釋酸溶液：4 % HNO_3 + 1 % HClO_4 ，取 50 mL 消化酸溶液至 600 mL 去離子水中，再稀釋定量至 1 L。
- (6)氬氣 (Argon)：99.99 %。
- (7)蒸餾水或去離子水。

三、 特定化學物質採樣分析

(一) 無機酸採樣分析：

- 1.參考勞動部 CLA 2901 之方法，使用矽膠管 (400 mg/200 mg) 作為採樣介質，採樣流率為 300 mL/min。
- 2.採樣完成後，樣本以室溫保存運送。打開矽膠管上膠蓋，分別取出前後段玻璃綿，過濾膜連同矽膠倒入 10 mL 定量瓶中（可加少量流洗液沖洗矽膠管內壁以確保矽膠管內吸附之樣本可完全回收）。
- 3.加入 10 mL 的流洗液（1.8 mM 碳酸鈉/1.7 mM 碳酸氫鈉），於沸水浴中加熱 30 分鐘以上進行脫附。

4.利用離子層析儀/電導度偵測器(IC/ECD)進行分析。分離管柱為 HPICE-AS4A，流洗液為 1.8 mM Na₂CO₃/1.7mM NaHCO₃，流率為 2 mL/min。

(二) 氰化物採樣分析：

- 1.參考勞動部 CLA 2316 之方法，使用纖維素濾紙(孔徑 0.8 μm，直徑 37 mm)，後接一含 15 mL，0.1N KOH 的衝擊式採集瓶作為採樣介質，採樣流率為 800 mL/min。
- 2.採樣後將濾紙放入 60 mL 瓶中。
- 3.取 25 mL 0.1N KOH 於入瓶中，蓋緊並至少搖盪 30 分鐘至完全萃取。在萃取出後二小時以內分析。
- 4.將 20 mL 瓶中採集溶液倒入 25 mL 體積量瓶中，並用 0.1N KOH 潤洗 20 mL 瓶中之殘留液，將洗液倒入 25 mL 體積量瓶中，以 0.1N KOH 加至刻度
- 5.使用離子濃度測定計進行分析，將溶液倒入 50 mL 燒杯。將氰離子電極及參考電極浸入樣品中並開始充分攪拌。
- 6.讀數穩定後，記錄 mv 讀數。

第四章 結果與討論

第一節 完成之工作項目

本研究執行項目包含高科技廢棄物資源再生產業暴露調查、文獻資料收集、事業單位回收再生作業模式調查分析、高科技廢棄物資源再生產業事業單位危害物種（金屬、特定化學物質或粉塵等）及危害特性調查分析、高科技廢棄物資源再生產業事業單位金屬暴露作業環境監測採樣分析、高科技廢棄物資源再生產業事業單位其他危害物暴露狀況調查、事業單位調查結果整理分析。

第二節 各廠資料調查收集分析

本研究選取資源再生相關工廠如表 13 所示（各廠較詳細基本資料如附錄一），主要為回收含貴金屬之事業單位廢棄物進行貴金屬之提煉。並進行此 6 家工廠之原物料使用調查、作業製程及產品調查，本研究之分析結果均以各廠代號進行描述及評估。

表 13 各廠基本資料

工廠代號	行業別	員工人數	主要來料	主要產品及服務項目
A	環境衛生及污染防治服務業	130 人	事業單位之含金屬廢棄物	金、銀、鈮、鉑
B	環境衛生及污染防治服務業	150 人	事業單位之含金屬廢棄物	金、銀、銅、鉑、鎳、鈮、碘
C	環境衛生及污染防治服務業	105 人	事業單位之含金屬廢棄物、廢五金、廢家電、電子資訊用品	金、銀、鈮
D	環境衛生及污染防治服務業	140 人	廢電子零件、廢積體電路、廢印刷電路板等固體廢棄物	金、銀、鈮、鉑
E	其他金屬相關	115 人	事業單位之含金屬	金、銀、鈮、鉑、鎳

	製造業		之製程下腳料、廢零件	
F	其他金屬相關 製造業	335 人	事業單位之含金屬 之下腳料、廢零件	金、銀、銻、鉍、鉛、 鈷

第三節 作業環境監測調查結果分析

本研究中所選取的資源再生產業相關事業單位分別為 A、B、C、D、E、F 等六間工廠，針對現場金屬粉塵、無機酸及氰化物進行作業環境監測採樣及分析。

A 工廠的採樣規劃如表 14 和圖 7，分別針對酸洗作業區、高溫熔煉爐(高溫爐 1)及高溫批次爐之進出料口作業區(高溫爐 2)進行區域及個人空氣採樣，結果如表 15~18 所示。批次爐主要先將來料進行高溫燒解，將不必要的物質去除。由表 15 及表 17 之重量分析結果可知相同作業區之個人金屬粉塵及總粉塵濃度皆高於區域採樣，是由於作業人員較接近高溫爐的進出料口所致，且現場設有大型風扇，可能導致區域採樣濃度偏低的情形，又因區域採樣須避開作業人員活動頻繁之區域，通常距離發生源較遠，導致區域採樣濃度偏低的情形。其中高溫爐 2 周邊金屬粉塵濃度高於其他區域，因此高溫爐為一批次爐，單次作業時間較短，出料次數較多，出料時會有大量爐渣溢散，導致該區域粉塵量較其他區域高。由表 15 可得知，燒解區的粉塵濃度較熔煉區低，因燒解區之來料為未經篩選之綜合廢料，粉塵量雖高，但含金屬成分較低，反之熔煉區之原料因塑料及其他廢棄物已被燒解，所以有較高濃度的金屬粉塵在熔煉區中。由表 16 中可觀察出在酸洗作業區中，編號 1、3 號明顯濃度高於 2、4 號，是因採樣當日 1、3 號之位置較靠近裝有無機酸之容器的開口處，導致邊 1、3 號之無機酸濃度明顯較高。

整體而言，A 工廠之金屬粉塵中，皆未高於表 4 勞動部所訂定之容許暴露濃度值，但銀濃度比其他金屬高出許多，可能因當天產線以提煉銀及鑄造銀錠為主。由於 A 工廠之來料主要為事業單位之下腳料、廢電路板等組成較為複雜的廢料，因此除了表 17 所分析的幾種金屬外，另含多種微量的金屬元素，空氣中金屬暴露濃度與容許暴露濃度之比例總和皆小於 1。另外酸洗作業濃度較低原因可能為本次採樣時間較作業時間來的短（本次採樣開始時間為上午 9：00，採樣結束時間為下午 3：15，因其為批次作業

及前置作業準備，實際作業時間是從上午 10：00 至下午 2：00 結束作業），導致濃度低估。氰化物採樣點部分則未偵測到氰根離子的存在。

表 14 A 工廠採樣規劃

項目	區域採樣	個人採樣	區域採樣	個人採樣	區域採樣
採樣類型	總粉塵採樣	總粉塵採樣	無機酸採樣	無機酸採樣	氰化物採樣
目標危害物	金屬粉塵	金屬粉塵	無機酸	無機酸	氰根離子
採樣點數	5	2	2	2	1
採樣器數量	5	2	2	2	1

表 15 A 工廠採樣區域及總粉塵濃度

序號	採樣分類	採樣介質	採樣區域	總粉塵濃度 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
1	區域	矽膠管	酸洗區	-
2	區域	矽膠管	酸洗區	-
3	個人	矽膠管	酸洗區	-
4	個人	矽膠管	酸洗區	-
5	區域	MCE	倉儲區	12.07
6	區域	MCE	燒解區	14.89
7	區域	MCE	燒解區	4.39
8	區域	MCE	熔煉區	13.89
9	區域	MCE	熔煉區	11.67
10	個人	MCE	熔煉區	34.21
11	個人	MCE	熔煉區	20.06
12	區域	MCE+衝擊瓶	電解區	-

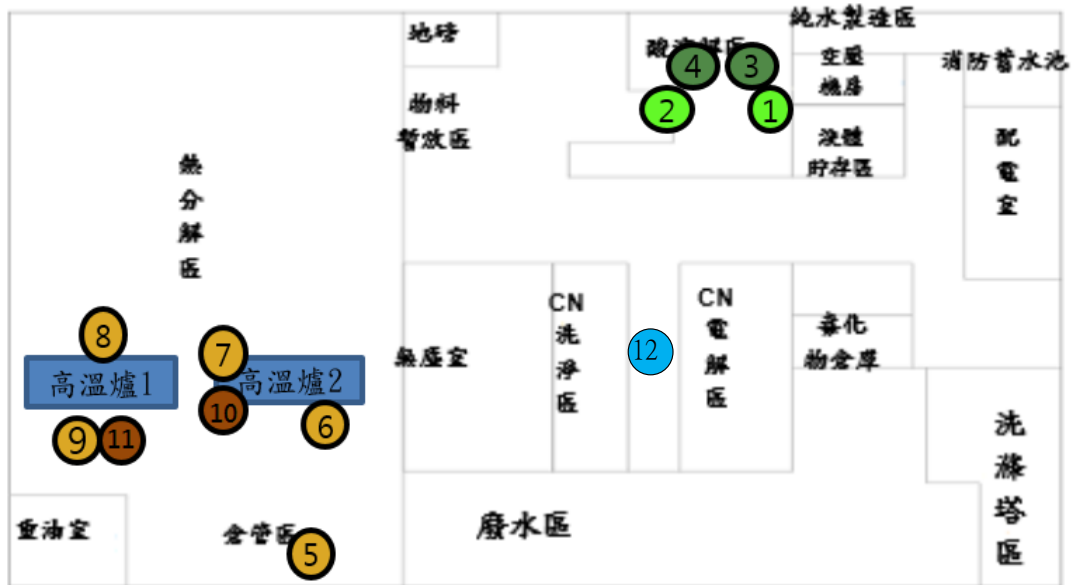


圖 7 A 工廠採樣規劃圖

表 16 A 工廠無機酸濃度分析

單位：mg/m ³				
序號	氫氟酸	鹽酸	硝酸	硫酸
1	0.034	0.056	0.022	0.032
2	<0.010	0.040	<0.009	0.031
3	0.071	0.059	0.040	0.030
4	<0.010	0.034	0.013	0.031

表 17 A 工廠金屬濃度分析結果

單位：μg/m ³												暴露 總和
序號	Au	Ag	Cu	Co	Cd	Ni	Zn	Sn	Pb	Cr	Mn	
5	0.97	1.17	0.98	<0.082	<0.074	0.68	7.07	0.18	0.13	0.41	0.48	0.134
6	3.63	0.97	1.51	<0.080	<0.072	0.78	6.57	<0.092	0.30	0.61	0.52	0.122
7	0.81	<0.064	0.29	<0.081	<0.072	<0.069	2.60	0.10	<0.06	0.25	0.34	0.017
8	0.92	0.45	0.95	<0.083	<0.074	0.54	9.29	0.13	0.21	0.74	0.66	0.071
9	1.82	0.50	0.85	<0.083	<0.075	0.52	6.69	0.10	0.28	0.46	0.45	0.071
10	1.70	0.15	4.71	0.10	<0.074	8.63	13.86	0.84	0.76	2.21	1.25	0.095

11	1.20	0.86	2.17	<0.084	<0.076	1.25	12.45	0.27	0.44	0.74	0.68	0.119
----	------	------	------	--------	--------	------	-------	------	------	------	------	-------

表 18 A 工廠氰化物濃度分析結果

單位：mg/m ³	
序號	氰根離子
12	<0.069

B 工廠的採樣規劃點如表 19 和圖 8，分別針對酸洗作業區、粉碎區之進出料口及放置破碎機之隔間等作業區進行區域及個人空氣採樣。由表 20 重量濃度分析結果可看出，在相同作業區之下，個人採樣濃度高於區域採樣，由於 6 號樣本個人採樣直接接觸到破碎後的金屬顆粒，較接近溢散源，因此有較高的粉塵濃度，又因區域採樣須避開作業人員活動頻繁之區域，通常距離發生源較遠，導致區域採樣濃度偏低的情形。以不同作業區的區域採樣做比較，可以觀察出破碎間內的濃度遠高於其他作業區域，因破碎設備並非密閉進行破碎作業，在破碎的過程中會產生大量的金屬粉塵，因此在破碎間採集到比其他作業區高出許多的粉塵，雖然使用隔間做區隔，但仍然有勞工入內作業。從出料和進料口做比較，可以得知出料口的粉塵濃度皆比進料口高，由此可見，經過破碎機後廢料粒徑減小許多，造成粉塵量大幅增加。由表 22 可發現編號 7、9、10 的 Cu 濃度極高，因為當日來料為銅粒及廢棄之印刷電路板（PCB），PCB 中銅佔了大多數的組成，因此在破碎間中兩個空氣中 Cu 的濃度都極高。於化學製程酸洗作業區之結果如表 21 所示，B 工廠進行酸溶作業主要使用鹽酸及硫酸兩種無機酸類，其中個人採樣略低於區域採樣，由於勞工不是長時間待在工作區域旁進行酸洗作業，需時常走動，因此導致個人採樣濃度低於區域採樣。

由上述分析結果可得知 B 工廠之金屬粉塵皆未高於表 4 勞動部所訂定之容許暴露濃度值，空氣中金屬暴露濃度與容許暴露濃度之比例總和皆小於 1。但破碎間內金屬粉塵於金屬銅及鉛之濃度，遠高於其他區域。由於 B 工廠設置多台破碎設備，並且以隔間方式與作業區域做阻隔，但必要時勞工還是必須進入，且粉碎間內並沒有排風或粉塵捕集之設備，勞工可能因此暴露到高濃度的金屬粉塵中，雖然 Cu 為來料的主要成分，但也另含多種微量的金屬元素。氰化物採樣點部分則未偵測到氰根離子的存在。

表 19 B 工廠採樣規劃

項目	區域採樣	個人採樣	區域採樣	個人採樣	區域採樣
採樣類型	總粉塵採樣	總粉塵採樣	無機酸採樣	無機酸採樣	氰化物採樣
目標危害物	金屬粉塵	金屬粉塵	無機酸	無機酸	氰根離子
採樣點數	7	1	2	1	1
採樣器數量	7	1	2	1	1

表 20 B 工廠採樣區域及總粉塵濃度

序號	採樣分類	採樣介質	採樣區域	總粉塵濃度 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
1	區域	矽膠管	酸洗區	-
2	個人	矽膠管	酸洗區	-
3	區域	矽膠管	酸洗區	-
4	區域	MCE	出料區	15.85
5	區域	MCE	進料區	10.7
6	個人	MCE	破碎區	6.34
7	區域	MCE	破碎間	18.91
8	區域	MCE	出料區	3.49
9	區域	MCE	破碎區	94.25
10	區域	MCE	破碎間	79.51
11	區域	MCE	進料口	12.21
12	區域	MCE+衝擊瓶	電解區	-

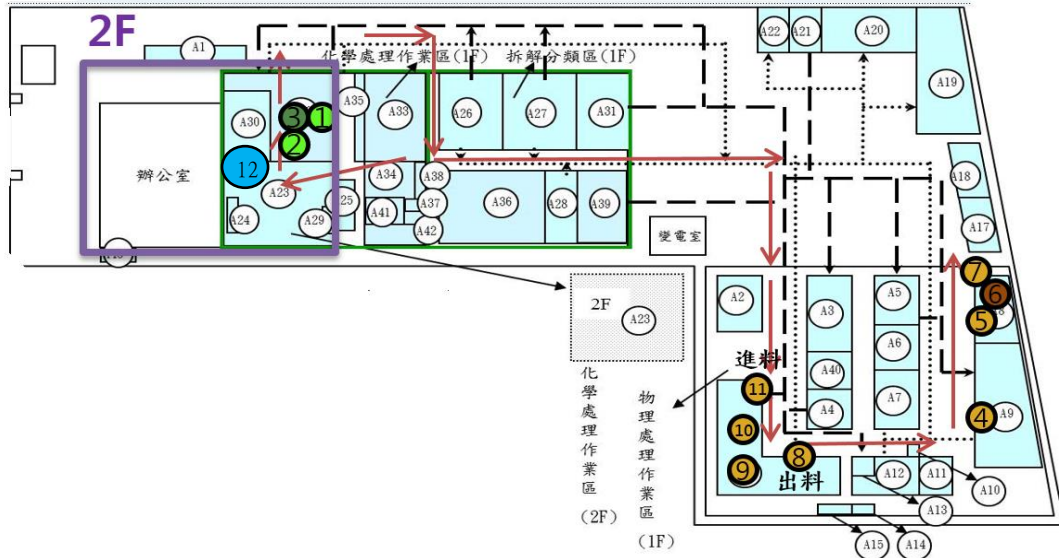


圖 8 B 工廠採樣規劃圖

表 21 B 工廠無機酸濃度分析

單位：mg/m ³				
序號	氫氟酸	鹽酸	硝酸	硫酸
1	0.016	0.037	<0.013	0.041
2	<0.010	0.028	<0.010	0.032
3	<0.014	0.044	<0.013	0.038

表 22 B 工廠金屬濃度分析結果

單位：μg/m ³												暴露 總和
序號	Au	Ag	Cu	Co	Cd	Ni	Zn	Sn	Pb	Cr	Mn	
4	2.52	0.69	8.80	<0.081	<0.073	0.26	1.40	1.82	0.13	0.23	<0.094	0.090
5	0.13	0.07	1.47	<0.083	<0.074	8.04	0.51	0.17	0.11	0.20	<0.096	0.026
6	0.22	0.09	4.20	<0.083	<0.074	0.15	1.07	0.30	0.07	0.24	<0.096	0.023
7	0.52	0.17	14.02	<0.082	<0.074	0.19	2.96	0.51	0.18	0.25	0.11	0.044
8	0.22	0.09	1.81	<0.083	<0.075	0.19	0.61	0.27	0.11	0.19	<0.097	0.020
9	0.22	0.09	52.74	0.12	<0.073	7.60	18.44	8.29	5.36	0.38	1.01	0.196
10	1.24	<0.067	45.52	<0.084	<0.076	0.10	18.85	7.78	4.78	0.36	0.88	0.166

11	0.50	0.16	6.17	<0.083	<0.074	0.60	3.09	0.75	0.55	0.23	0.16	0.043
----	------	------	------	--------	--------	------	------	------	------	------	------	-------

表 23 B 工廠氰化物濃度分析結果

單位：mg/m ³	
序號	氰根離子
12	<0.092

C 工廠的採樣規劃點如表 24 和圖 9，分別針對酸溶區、高溫熔煉，拆解、廢資訊物品處理區、破碎及物料收集暫存區進行區域及個人空氣採樣。高溫爐為將金屬精煉之作業，使得金屬粉塵濃度高於其他區域。然而，在圖 9 拆解區中個人金屬粉塵的總粉塵濃度皆高於區域採樣，此結果可能為作業人員多使用手動拆解，較接近物料，另外，區域採樣為了避免影響人員作業，因此無法完全貼近實際作業區域，可能為作業區域周遭之走道、柱邊或牆角等地。在 B 棟中的拆解為液晶電視面板之拆解，而在 C 棟中的拆解則大型廢家電為主，因此 B 棟之金屬粉塵顆粒較小較容易逸散，金屬粉塵濃度較 C 棟拆解區高。在廢資訊物品處理區，其物料多為印刷電路板、電腦主機等等金屬含量較高之原料，所以金屬粉塵濃度較高。在廢資訊物品處理區和編號 10 的甲處拆解區為通風且無隔間、兩區距離相近，由此可得知編號 10 的金屬粉塵受廢資訊物品處理區影響，金屬粉塵濃度比其他拆解區中的金屬粉塵濃度高。破碎區當日並無破碎作業，僅有分篩原物料，所以金屬粉塵比其他區域低。在物料暫存區中，因有使用隔間做區隔，金屬粉塵濃度較低，而區域採樣因放置地點較接近物料，工人則離物料較遠且為非定點工作，因此此區域採樣濃度高於其個人採樣。

本廠大多使用其熔煉來精煉為所需之貴金屬，酸溶區已經很久無使用，目前僅用來存放之前無法回收之金屬酸溶之廢酸溶液，由表 27 可得知無機酸採樣皆未超越各規範之濃度值。由表 27 結果與表 4 之容許濃度標準做對照後可得知，空氣中金屬暴露濃度與容許暴露濃度之比例總和皆小於 1。編號 2 的 Zn 經濃度換算過後為 0.218 mg/m³ 雖未超過容許暴露標準，但已達 ACGIH 容許暴露標準 2 mg/m³ 的十分之一；Pd 經濃度換算過後暴露濃度為 0.011 mg/m³，雖未超過容許暴露標準，但已達勞動部、OSHA、NIOSH 及 ACGIH 容許暴露標準 0.05 mg/m³ 的十分之一，仍有可能對人體造成影響。

表 24 C 工廠採樣規劃

項目	區域採樣	個人採樣	區域採樣	個人採樣	區域採樣
採樣類型	總粉塵採樣	總粉塵採樣	無機酸採樣	無機酸採樣	氰化物採樣
目標危害物	金屬粉塵	金屬粉塵	無機酸	無機酸	氰根離子
採樣點數	14	5	1	0	0
採樣器數量	14	5	1	0	0

表 25 C 工廠採樣區域及總粉塵濃度

序號	採樣分類	採樣介質	採樣區域	總粉塵濃度 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
1	區域	矽膠管	酸溶	-
2	區域	MCE	高溫熔爐	251.42
3	區域	MCE	拆解	1.23
4	區域	MCE	拆解	3.52
5	個人	MCE	拆解	3.12
6	個人	MCE	拆解	6.19
7	區域	MCE	拆解	1.92
8	區域	MCE	拆解	5.02
9	個人	MCE	拆解	7.33
10	區域	MCE	拆解	12.19
11	區域	MCE	廢資訊物品處理區	21.06
12	區域	MCE	破碎	1.35
13	區域	MCE	破碎	2.87
14	區域	MCE	物料收集暫存區	2.10
15	區域	MCE	物料收集暫存區	3.50
16	個人	MCE	物料收集暫存區	0.87
17	個人	MCE	物料收集暫存區	2.46
18	區域	MCE	物料收集暫存區	2.10
19	區域	MCE	物料收集暫存區	0.91
20	區域	MCE	物料收集暫存區	2.27



圖 9 C 工廠採樣規劃圖

表 26 C 工廠無機酸濃度分析

單位：mg/m ³				
序號	氫氟酸	鹽酸	硝酸	硫酸
1	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010

表 27 C 工廠金屬濃度分析結果

單位：μg/m ³												暴露 總和
序號	Au	Ag	Cu	Co	Cd	Ni	Zn	Sn	Pb	Cr	Mn	
2	0.33	0.59	16.72	0.21	<0.074	0.86	217.91	1.97	11.34	1.01	0.48	0.374
3	0.16	<0.066	0.14	<0.083	<0.074	<0.071	0.83	<0.095	0.10	<0.077	<0.096	0.014
4	0.07	<0.064	0.34	<0.081	<0.072	0.10	2.57	<0.093	0.22	<0.075	0.21	0.016
5	0.09	<0.085	0.24	<0.108	<0.097	0.32	1.72	0.66	0.09	<0.100	<0.126	0.018
6	<0.06	<0.067	0.21	<0.084	<0.075	<0.072	4.99	0.63	0.23	<0.078	0.13	0.018
7	0.17	<0.064	0.47	<0.081	<0.072	0.11	0.97	<0.093	0.20	<0.075	<0.094	0.016
8	0.06	<0.061	0.26	<0.077	<0.069	0.15	3.08	1.05	0.41	<0.071	<0.089	0.020
9	0.07	<0.068	0.35	<0.086	<0.077	0.24	5.17	0.36	0.93	0.09	0.12	0.032
10	<0.075	<0.083	1.03	<0.105	<0.094	0.19	10.05	0.10	0.24	0.27	0.31	0.026
11	0.11	<0.056	0.66	<0.071	<0.064	0.39	17.93	0.87	0.79	0.10	0.21	0.031
12	0.12	<0.064	0.26	<0.081	<0.073	<0.070	0.84	<0.093	0.12	<0.075	<0.094	0.014
13	<0.058	<0.064	0.16	<0.080	<0.072	0.07	1.18	1.16	0.16	<0.075	0.13	0.015
14	<0.057	<0.063	0.46	<0.080	<0.072	0.22	<0.079	0.44	0.08	0.76	0.14	0.027
15	0.44	<0.065	0.90	<0.083	<0.074	0.15	1.51	0.31	0.19	<0.077	<0.096	0.017
16	<0.057	<0.063	0.52	<0.080	<0.072	0.11	<0.079	<0.092	<0.060	0.24	<0.093	0.016
17	<0.057	<0.083	0.24	<0.105	<0.094	<0.090	1.66	0.44	0.11	<0.097	<0.122	0.017
18	0.19	<0.065	0.24	0.10	<0.074	0.10	1.17	<0.094	0.31	<0.076	<0.095	0.018
19	<0.06	<0.07	0.19	<0.08	<0.07	<0.07	<0.08	0.72	<0.06	<0.08	<0.1	0.013
20	<0.06	<0.06	0.21	<0.08	<0.07	<0.07	1.28	0.51	0.28	<0.07	<0.09	0.017

D 工廠的採樣規劃點如表 28 和圖 10，分別針對電析、酸溶及粉碎區進行區域及個人空氣採樣。在圖 11 中我們可得知其區域採樣編號 11、13 最靠近粉碎間，因此金屬粉塵濃度較高，當中又以編號 11 因為放置於粉碎間內，金屬粉塵濃度為其所有採樣點中之最，其次為編號 13。而個人採樣又以編號 9 距離其粉碎間距離較編號 8 來的近，所以編號 9 之個人採樣濃度遠遠高於編號 8。而編號 10、12、14 離粉碎間較遠，使得金屬粉塵濃度較低。另外，由圖 10 我們可以清楚得知金屬濃度之高低與粉碎間距離呈正相關，越靠近粉碎間濃度越高。

由表 31 結果與表 4 之容許暴露濃度標準做對照後可得知，D 場各項金屬粉塵濃度皆未超過各容許暴露標準，空氣中金屬暴露濃度與容許暴露濃度之比例總和皆小於 1。僅編號 9 及編號 10 之 Pb 達勞動部、OSHA、NIOSH、ACGIH 容許暴露標準 0.05 mg/m³ 的十分之一，仍有可能對人體造成影響。

在無機酸採樣中，多數結果為低於偵測限值，導致此結果原因可能為此工廠當日氣溫及濕度較高或無機酸溢散至空氣中的顆粒較大，造成矽膠吸附管吸附過多的水氣及顆粒過大無法進入矽膠吸附管等原因。由表 30 可得知無機酸採樣則大部分低於偵測檢量下限，僅編號 5 測得微量之硝酸。

表 28 D 工廠採樣規劃

項目	區域採樣	個人採樣	區域採樣	個人採樣	區域採樣
採樣類型	總粉塵採樣	總粉塵採樣	無機酸採樣	無機酸採樣	氰化物採樣
目標危害物	金屬粉塵	金屬粉塵	無機酸	無機酸	氰根離子
採樣點數	6	2	4	2	1
採樣器數量	6	2	4	2	1

表 29 D 工廠採樣區域及總粉塵濃度

序號	採樣分類	採樣介質	採樣區域	總粉塵濃度 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
1	區域	MCE+衝擊瓶	電析	-
2	個人	矽膠管	酸溶	-
3	個人	矽膠管	酸溶	-
4	區域	矽膠管	酸溶	-
5	區域	矽膠管	酸溶	-
6	區域	矽膠管	酸溶	-
7	區域	矽膠管	酸溶	-
8	個人	MCE	粉碎	8.67
9	個人	MCE	粉碎	39.18
10	區域	MCE	粉碎	4.73
11	區域	MCE	粉碎	42.18
12	區域	MCE	粉碎	5.66
13	區域	MCE	粉碎	21.19
14	區域	MCE	粉碎	5.24

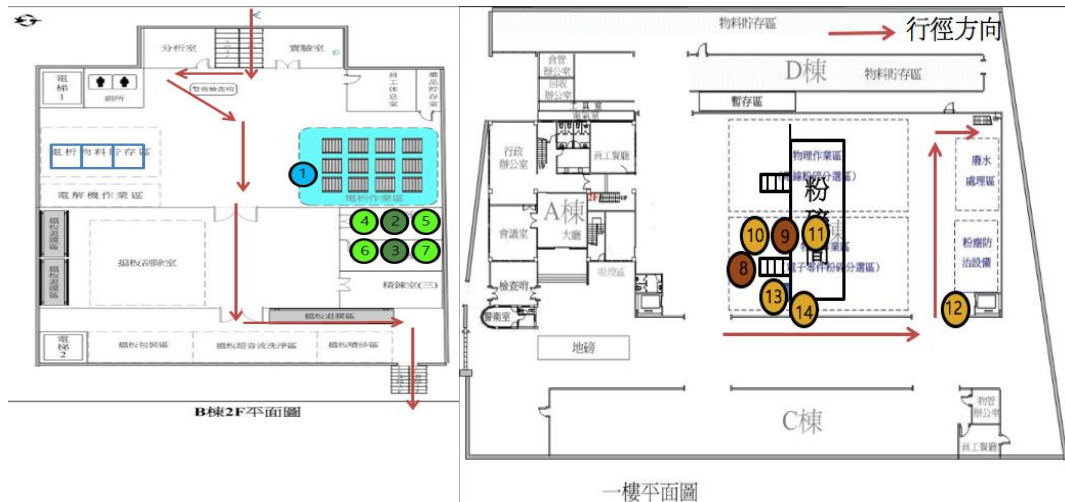


圖 10 D 工廠採樣規劃圖

表 30 D 工廠無機酸濃度分析

單位：mg/m ³				
序號	氫氟酸	鹽酸	硝酸	硫酸
2	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010
3	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010
4	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010
5	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010
6	<0.010	<0.010	0.046	<0.010
7	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010

表 31 D 工廠金屬濃度分析結果

單位：μg/m ³												暴露 總和
序號	Au	Ag	Cu	Co	Cd	Ni	Zn	Sn	Pb	Cr	Mn	
8	0.06	<0.038	4.66	<0.086	<0.077	0.33	0.77	1.22	0.99	<0.080	0.62	0.034

9	0.08	0.12	12.83	<0.086	<0.077	0.94	6.44	6.22	5.75	0.14	6.66	0.153
10	<0.061	<0.067	2.37	<0.085	<0.077	0.19	0.30	1.00	0.53	<0.079	0.35	0.025
11	0.11	0.16	17.33	<0.085	<0.076	1.11	6.23	5.98	5.71	0.17	5.38	0.161
12	0.06	<0.068	2.54	<0.085	<0.077	0.23	0.44	1.17	0.69	<0.079	0.54	0.029
13	0.08	0.08	10.25	<0.085	<0.077	0.81	2.78	2.92	2.72	<0.079	1.55	0.081
14	0.06	<0.065	2.34	<0.083	<0.074	0.21	0.38	0.95	0.70	<0.077	0.59	0.028

表 32 D 工廠氰化物濃度分析結果

單位：mg/m ³	
序號	氰根離子
1	<0.090

E 工廠採樣點數量及採樣規劃如表 33 和圖 11~13 所示，酸溶作業選取鋼回收、PGE 回收及貴金屬回收之酸溶作業區進行採樣，金屬粉塵採樣則分別於球磨區、清理區及焚燒作業區進行。本工廠以自然通風換氣為主，於部分區域有裝置整體換氣裝置及局部排氣裝置，並於酸溶作業區使用塑膠簾幕隔開作業區域。由表 34 中可得知，個人採樣之總粉塵濃度皆高於區域採樣，此結果可能由於作業勞工較接近粉塵之發生原所致，且區域採樣可能受到通風設備及擺放位置之影響，採樣時未考慮勞工作業時之便利性，需在不干擾勞工作業之情形下進行區域採樣，因此無法完全貼近實際作業區域，可能為作業區域周遭之走道、柱邊或牆角等地。在無機酸採樣中，多數結果為低於偵測限值，其原因可能為此工廠當日氣溫及濕度較高，作業現場平均相對濕度超過 77%，平均溫度超過 29°C，或無機酸溢散致空氣中的顆粒較大，造成矽膠吸附管吸附過多的水氣及顆粒過大無法進入矽膠吸附管等原因。在金屬粉塵採樣結果中，球磨區的濃度為所有區域中最高，可能為工廠球磨機擺放較密集，且設備未完全密閉所致，濃度次高則為焚燒爐旁的清理區，此區域將高溫焚燒後的廢棄物渣裝入容器中並將勝於細碎粉末清掃，經焚燒過後的廢棄物在搬運、裝桶及清掃的過程都可能產生較多的粉塵溢散致空氣中。焚燒作業區濃度略低於整理清掃區域之原因可能為焚燒作業區需經過長時間高溫加熱，且加熱期間為密閉設備，直到焚燒完成後才再次打開，因此實際作業時間較短。儲存區為所有區域中金屬粉塵濃度最低者，其原因可能為儲存區距離其他作業區較遠，遠離粉塵之溢散源，且較靠近工廠出入口，因此通風較為良好。

由表 36 結果與表 4 之容許暴露濃度標準做對照後可得知，空氣中金屬暴露濃度與容許暴露濃度之比例總和皆小於 1。位於球磨作業區之 10 號個人空氣採樣鉛濃度經單位換算後為 0.02129 mg/m³，已經超越了我國勞動部、NIOSH 所規範的 0.05 mg/m³ 及 OSHA 所規範的 0.1 mg/m³ 之十分之一；位於整理清掃作業區的鎳濃度經單位換算後為 0.02464 mg/m³ 超越了 NIOSH 所規範的 0.015 mg/m³。由表 35 可得知無機酸採樣則大部分低於偵測檢量下限，僅測得微量之氫氟酸和鹽酸。

表 33 E 工廠採樣規劃

項目	區域採樣	個人採樣	區域採樣	個人採樣
採樣類型	總粉塵採樣	總粉塵採樣	無機酸採樣	無機酸採樣
目標危害物	金屬粉塵	金屬粉塵	無機酸	無機酸
採樣點數	4	3	4	3
採樣器數量	4	3	4	3

表 34 E 工廠採樣區域及總粉塵濃度

序號	採樣分類	採樣介質	採樣區域	總粉塵濃度 (µg/m ³)
1	個人	矽膠管	酸溶	-
2	區域	矽膠管	酸溶	-
3	個人	矽膠管	酸溶	-
4	區域	矽膠管	酸溶	-
5	區域	矽膠管	酸溶	-
6	個人	矽膠管	酸溶	-
7	區域	矽膠管	酸溶	-
8	個人	MCE	焚化	22.29
9	區域	MCE	焚化	7.97
10	個人	MCE	球磨	67.87
11	區域	MCE	球磨	6.10
12	區域	MCE	球磨	34.65
13	個人	MCE	球磨	37.28

14	區域	MCE	儲存區	4.22
----	----	-----	-----	------

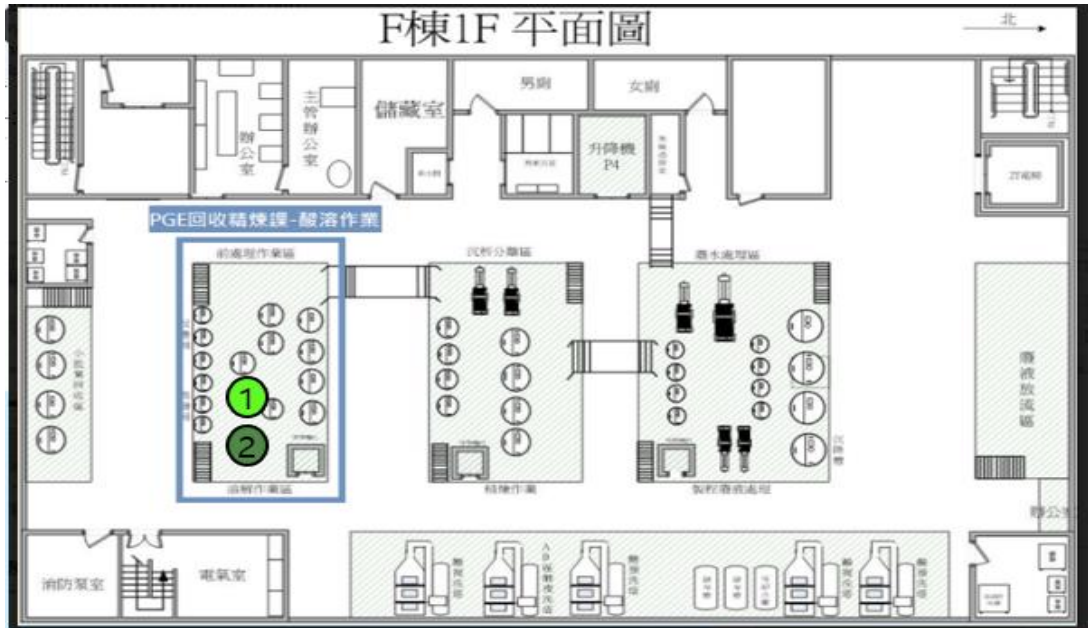


圖 11 E 工廠採樣規畫圖-1

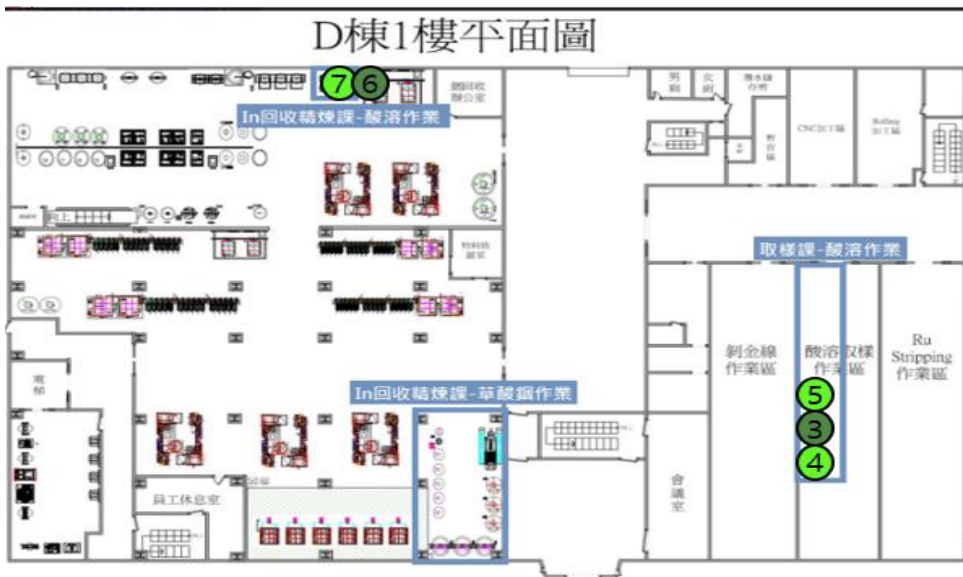


圖 12 E 工廠採樣規畫圖-2

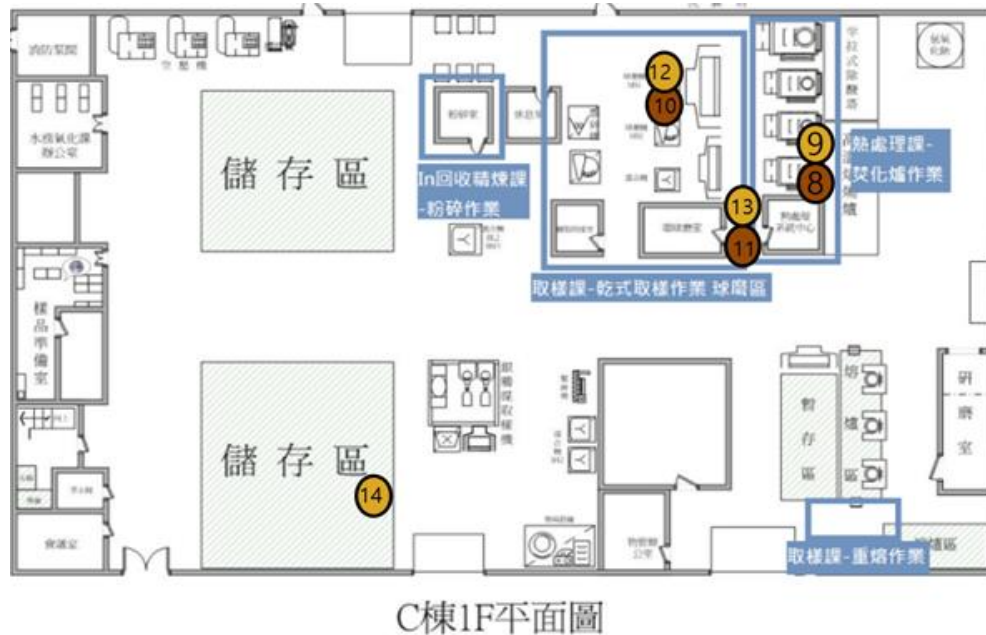


圖 13 E 工廠採樣規畫圖-3

表 35 E 工廠無機酸濃度分析

單位：mg/m³

序號	氫氟酸	鹽酸	硝酸	硫酸
1	<0.010	0.011	<0.010	<0.010
2	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010
3	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010
4	0.016	<0.010	<0.010	<0.010
5	0.016	<0.010	<0.010	<0.010
6	<0.010	<0.009	<0.009	<0.009
7	<0.010	<0.010	<0.009	<0.010

表 36 E 工廠金屬濃度分析結果

單位：μg/m³

序號	Au	Ag	Cu	Co	Cd	Ni	Zn	Sn	Pb	Cr	Mn	Pd	Zr	In	暴露
															總和
8	2.68	0.38	3.06	0.76	<0.072	9.69	2.19	1.44	<0.060	0.74	0.58	<0.093	<0.098	0.78	0.092
9	0.17	0.13	1.91	1.16	<0.072	1.28	0.96	0.85	<0.059	0.29	0.12	<0.092	<0.097	1.09	0.059
10	0.53	0.39	20.74	21.29	<0.073	5.60	5.59	1.63	<0.061	3.24	0.68	<0.095	0.48	7.70	0.638
11	0.63	0.13	1.49	2.84	<0.071	24.64	0.61	0.62	<0.059	0.73	0.33	<0.091	<0.096	2.61	0.140
12	0.10	0.12	0.27	2.40	<0.071	0.61	0.29	0.73	<0.059	0.32	<0.092	<0.092	<0.096	1.26	0.083

13	2.22	0.15	3.41	1.31	<0.071	24.30	1.74	1.81	<0.059	0.72	0.55	<0.092	<0.096	1.06	0.098
14	<0.0057	0.64	0.10	1.30	<0.071	0.14	0.14	0.49	<0.059	0.19	<0.092	<0.092	<0.096	1.21	0.109

F 工廠採樣點數量及採樣規劃如表 37 和圖 14~17 所示，酸溶作業選取貴金屬回收之酸溶作業區進行採樣，金屬粉塵採樣則分別於造粒（銹粒）區、研磨區及粉銻區及鑄銻區進行。本工廠以自然通風換氣為主，於粉碎區及部分酸作業區域有裝置整體換氣裝置或局部排氣裝置，酸溶作業區多以特定管線注入酸溶解液，且桶槽內使用負壓環境，使酸氣較不會溢散。由表 38 中可得知，造粒區及研磨區個人採樣之總粉塵濃度皆高於區域採樣，此結果可能由於作業勞工較接近粉塵之發生原所致，且區域採樣可能受到通風設備及擺放位置之影響，採樣時為考慮勞工作業時之便利性，需在不干擾勞工作業之情形下進行區域採樣，因此無法完全貼近實際作業區域，可能為作業區域周遭之走道、柱邊或牆角等地。在粉碎區及鑄銻區中，區域採樣濃度高於個人採樣，原因可能為於此二區域勞工並非長時間位於作業機檯邊，僅進料及出料時接進機台。在無機酸採樣中，多數結果為低於偵測限值，導致此結果原因可能為此工廠當日氣溫及濕度較高，作業現場平均相對濕度超過 70%，平均溫度超過 29°C，或無機酸溢散致空氣中的顆粒較大，造成矽膠吸附管吸附過多的水氣及顆粒過大無法進入矽膠吸附管等原因。於金屬粉塵採樣結果中可得知粉碎區濃度為所有作業區域中最高，研磨及造粒區則次之，工廠之粉碎設備並非密閉式系統，因此容易產生大量粉塵；鑄銻區為所有作業區濃度最低者，因鑄銻區僅將金屬以高溫溶為液態後製成銻狀，此過程較不會產生大量的金屬粉塵，但有高溫熔融金屬燻煙。

由表 40 結果與表 4 之容許暴露濃度標準做對照後可得知，位於粉碎作業區之編號 11~13 個人及區域空氣採樣鈷濃度經單位換算後分別為 0.14862、0.40162、0.37487，已經超過我國勞動部與美國 NIOSH 所規範的 0.05 mg/m³、OSHA 所規範的 0.1 mg/m³。該區域是破碎回收鈷靶材生產後之下腳料，其鈷含量較一般廢棄物金屬含量高，因此空氣中鈷濃度較高。位於造粒區（編號 8）及研磨區（編號 10）之銹濃度雖未超過各規範之 0.1 mg/m³ 但接近容許濃度值的二分之一為該兩區濃度最高。粉碎作業區金屬暴露比例總和因鈷之暴露而大於 1，最高暴露總和可達容許暴露標準 8 倍以上。另外於鑄銻區因將高純度回收金屬鑄成銻狀或塊狀，有高溫熔融金屬燻煙，銀暴露超過容許暴露標準 0.01 mg/m³，該區域採樣點之空氣中金屬暴露濃度與容許暴露濃度之比例總和大

於 1。其餘採樣點，空氣中金屬暴露濃度與容許暴露濃度之比例總和皆小於 1。由表 39 可得知無機酸濃度則大部分低於偵測檢量下限，僅測得微量之硝酸。

表 37 F 工廠採樣規劃

項目	區域採樣	個人採樣	區域採樣	個人採樣
採樣類型	總粉塵採樣	總粉塵採樣	無機酸採樣	無機酸採樣
目標危害物	金屬粉塵	金屬粉塵	無機酸	無機酸
採樣點數	6	5	3	3
採樣器數量	6	5	3	3

表 38 F 工廠採樣區域及總粉塵濃度

序號	採樣分類	採樣介質	採樣區域	總粉塵濃度 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
1	區域	矽膠管	酸溶	-
2	個人	矽膠管	酸溶	-
3	區域	矽膠管	酸溶	-
4	區域	矽膠管	酸溶	-
5	個人	矽膠管	酸溶	-
6	個人	矽膠管	酸溶	-
7	區域	MCE	造粒	14.28
8	個人	MCE	造粒	41.92
9	區域	MCE	研磨	0.97
10	區域	MCE	研磨	51.10
11	區域	MCE	粉碎	183.89
12	區域	MCE	粉碎	420.28
13	個人	MCE	粉碎	401.45
14	個人	MCE	粉碎	36.97
15	區域	MCE	鑄錠	1.92
16	區域	MCE	鑄錠	17.17
17	個人	MCE	鑄錠	7.50

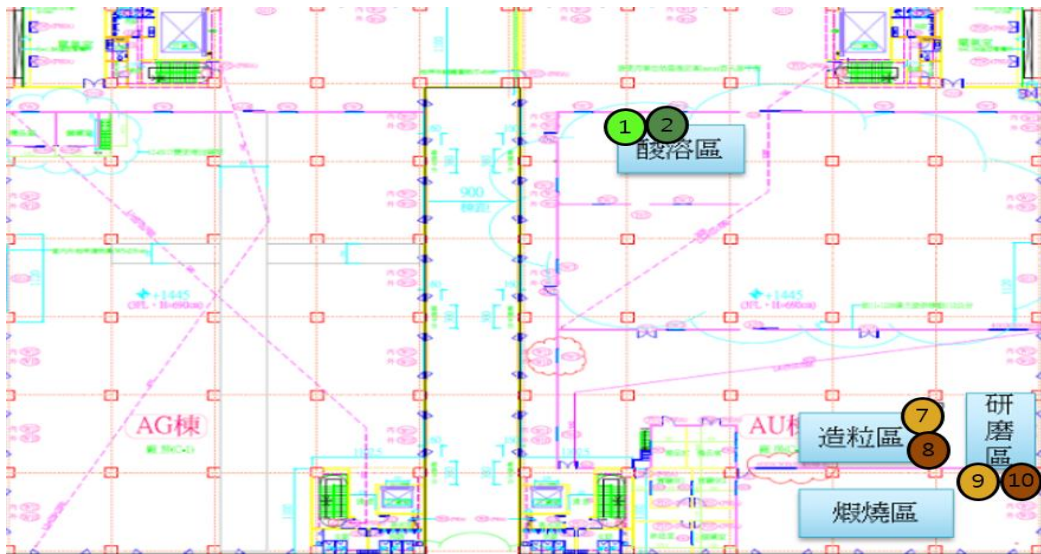


圖 14 F 工廠採樣規畫圖-1

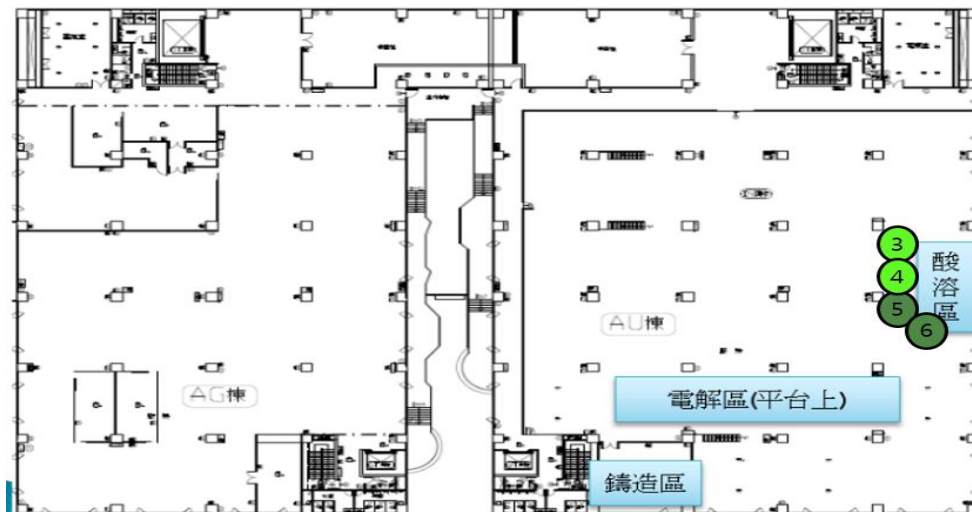


圖 15 F 工廠採樣規畫圖-2

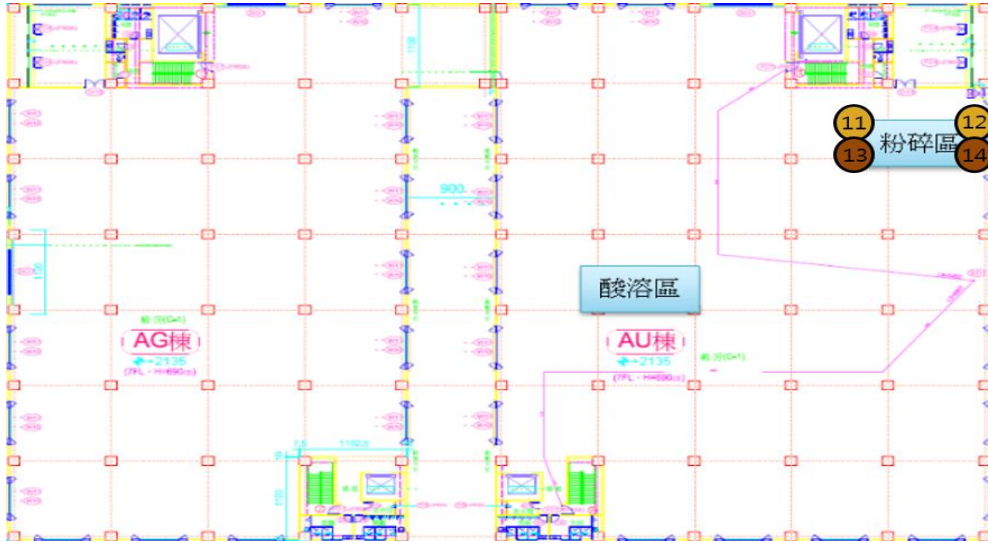


圖 16 F 工廠採樣規畫圖-3

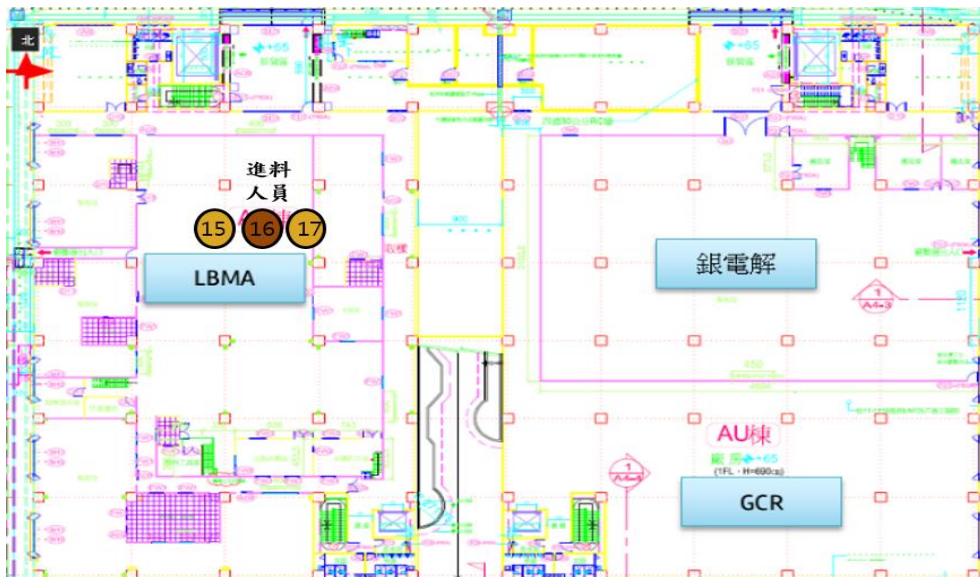


圖 17 F 工廠採樣規畫圖-4

表 39 F 工廠無機酸濃度分析

單位：mg/m ³				
序號	氫氟酸	鹽酸	硝酸	硫酸
1	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010
2	<0.014	<0.014	<0.014	<0.014
3	<0.010	<0.009	0.030	<0.009

4	<0.010	<0.009	<0.009	<0.009
5	<0.010	<0.010	0.013	<0.009
6	<0.016	<0.016	<0.015	<0.015

表 40 F 工廠金屬濃度分析結果

單位：μg/m ³															暴露 總和
序號	Au	Ag	Cu	Co	Cd	Ni	Zn	Sn	Pb	Cr	Mn	Pd	Zr	In	
7	<0.061	<0.068	0.25	<0.086	<0.077	<0.074	<0.085	0.93	<0.064	<0.080	<0.100	<0.100	<0.105	13.10	0.145
8	<0.063	<0.069	0.16	<0.088	<0.078	0.46	<0.086	0.75	<0.065	<0.081	<0.102	<0.101	<0.106	40.54	0.420
9	<0.061	<0.067	0.19	<0.086	<0.077	<0.074	<0.084	0.79	<0.064	<0.079	<0.099	<0.099	<0.104	<0.053	0.014
10	<0.15	<0.171	0.39	<0.216	<0.194	<0.186	<0.214	2.37	<0.161	<0.200	<0.025	<0.250	<0.263	48.34	0.518
11	<0.21	<0.24	6.77	148.62	<0.272	25.95	<0.300	2.55	<0.226	<0.280	<0.352	<0.351	<0.369	<0.188	3.048
12	2.26	<0.256	7.09	401.62	<0.291	<0.279	3.12	2.55	<0.241	3.64	<0.377	<0.376	<0.394	<0.201	8.153
13	1.91	<0.243	11.87	374.87	<0.276	<0.0265	5.01	4.17	<0.229	3.63	<0.358	<0.356	<0.374	<0.191	7.621
14	0.51	<0.248	0.99	32.35	<0.028	<0.0270	<0.310	2.50	<0.233	0.62	<0.364	<0.363	<0.381	<0.195	0.694
15	<0.072	0.23	0.18	<0.101	<0.091	0.18	<0.100	1.34	<0.075	<0.094	<0.118	<0.117	<0.123	<0.063	0.032
16	<0.074	15.50	0.19	<0.103	<0.093	<0.0887	<0.102	1.47	<0.077	<0.096	<0.120	<0.119	<0.125	<0.064	1.559
17	<0.074	5.76	0.27	<0.104	<0.093	<0.0893	0.42	0.79	0.26	<0.096	<0.121	<0.120	<0.126	<0.064	0.589

第四節 無機酸採樣方法適用性之探討

本研究中，無機酸採樣參考現行建議採樣分析方法 (CLA 2901) 進行採樣及分析，使用 400/200mg 矽膠管作為採樣介質，在多數廠次中，現場觀察情形及實際採樣數據進行比擬，認為可能會有低估現場濃度之情形，因此本研究比較其他無機酸採樣方法，並於未來將嘗試進行另類採樣方法，增加無機酸之捕集率及濃度的準確度。

一、以現行採樣分析方法搭配衝擊瓶進行採樣

考慮到現場濕度較高之情形，作業現場平均相對濕度超過 70%，平均溫度超過 31°C，矽膠管內可能因濕度高而吸取大量水分，以致對於無機酸的吸附效果不佳，若加入衝擊瓶並填充鹼性水溶液如 NaOH，可利用其化學性質將前方無法捕集之污染物溶於衝擊瓶內。

二、使用美國國家職業安全衛生研究 (NIOSH) 7906、7907 及 7908 方法進行採樣

NIOSH 於 2014 年發公布的 7906、7907 及 7908 方法，與以往我國無機酸採樣的方式較不同，此方式將氫氟酸獨立，硝酸、鹽酸、溴酸歸為一類，將硫酸及磷酸另歸一

類，並且使用不同的採樣方式，並且使用濾紙而非矽膠管進行採樣，於 7907 方法中更使用乾濕濾紙串聯方式進行採樣，目的為同時捕集酸蒸氣及粒狀之酸霧滴；此方法為目前最新之無機酸採樣方法。

第五章 結論與建議

第一節 結論

在貴金屬回收作業中，金屬粉塵中不同金屬元素的組成比例與當日工廠來料的型態及提煉的目標物相關，本研究僅能就當天之採樣調查分析結果觀察說明各廠當日暴露之狀況。由各廠金屬粉塵濃度數據可得知 B、D、F 工廠中，粉（破）碎作業產生的金屬粉塵濃度相較其他作業區高出許多，特別是位於破碎作業工作間內，其中 B 工廠及 D 工廠有將粉碎設備隔離於進料口之後的隔間作業區，F 工廠則無，同時因處理金屬含量較高之下腳料，因此金屬粉塵濃度也較高。E 工廠之球磨區及整理作業區及 F 工廠之粉碎作業區，鈷之暴露濃度超過我國容許暴露標準及其他各國或機構的容許濃度標準。鑄錠區因將高純度回收金屬鑄成錠狀或塊狀，有高溫熔融金屬煙，鑄錠區空氣中之銀濃度超過我國容許暴露標準。其餘作業現場空氣中金屬粉塵濃度皆未超過我國容許暴露標準，而且空氣中金屬暴露濃度與容許暴露濃度之比例總和皆小於 1。

由現場觀察及問卷得知，在暴露於金屬粉塵的作業環境中，少數工廠仍僅佩戴一般平面活性碳口罩，過濾效果有限。而且在暴露於金屬粉塵的作業環境中，大多數工廠僅佩戴一般棉紗手套，金屬粉塵可能透過手套間的縫隙，使金屬粉塵附著手部皮膚，如未正確洗手清潔，可能經口進入人體。

在提煉貴金屬過程中常見之酸洗（溶）製程中，常會使用硫酸、鹽酸及硝酸作為金屬溶劑，使用無機酸類之比例成份各廠不一，可能是自行調配或購入現成配方原料，雖各廠皆避免使用氫氟酸，但於 A、B、E 工廠作業現場空氣中皆發現有氫氟酸，但也皆未於原物料使用調查問卷中顯示有使用之狀況，經詢問後，廠商表示也從未使用，可能與廠商購買之原物料成分標示不清或廠商本身配方機密有所關聯，而未揭露公告於作業場所。

於現場訪視與採樣時，觀察到作業現場明顯有酸氣霧滴瀰漫的現象，但與採樣分析調查結果分析比較，作業現場空氣中無機酸濃度皆遠低於容許暴露標準，明顯有極大的落差。本研究無機酸採樣使用現行建議採樣分析方法（CLA 2901），結果與現場狀況相較，可能有低估之情形，現行建議採樣分析方法知可能尚需再評估其準確性與適用性。

於現場訪視與採樣時，觀察到各廠氰化物電析設備皆為密閉式且裝置內為負壓環境，因此皆未偵測到氰化物暴露。

第二節 建議

一、 對於作業勞工之建議

粉碎機機台未設置隔間者，應適當阻隔作業人員工作場所與機台，避免作業人員直接暴露更多金屬粉塵。若是處理金屬含量較高之下腳料或完成回收金屬之研磨、破碎區、整理作業區及鑄錠區建議增加局部排氣裝置並將作業空間加以阻隔，避免粉塵溢散到其他作業區域，造成更多勞工暴露。金屬粉塵較高之作業場所，作業勞工應佩戴適當之防護具（如呼吸防護具、手套、工作服等），且正確洗手，避免經口進入人體內，危害勞工健康。

進行無機酸相關作業時，應了解使用無機酸之種類含量及其危害，並佩戴適當的防護具（如酸性氣體呼吸防護具、防酸橡膠手套等），避免吸入及皮膚接觸，造成對健康的不良影響。

二、 對於事業單位之建議

金屬粉塵較高之作業場所，設置有效局部排氣裝置或整體換氣裝置，加強空氣的流通，有助於粉塵濃度下降。鎳、鈷、銻等金屬經文獻指出對於人體有較大的健康危害，建議對於金屬粉塵作業勞工實施特殊危害健康作業之健康檢查，並定期使勞工拍攝胸部 X 光。為避免鈷的暴露進而對人體產生影響，除定期進行危害健康作業之健康檢查外，可針對製程粉塵逸散嚴重之區域進行隔離或密閉，如此可有效降低金屬粉塵暴露量。另外，相關作業場所應定時清理堆積粉塵、減少粉塵揚起暴露。勞工安全衛生教育訓練也應加強，在長時間暴露於粉塵作業後，需注意個人防護器具之更新。

在提煉貴金屬過程中常見之酸洗（溶）製程中，常會使用硫酸、鹽酸及硝酸作為金屬溶劑，使用之無機酸可能是自行調配或購入現成配方原料，雖各廠皆避免使用氫氟酸，但於某些工廠中發現了少量的氫氟酸存在，因此建議購入或使用無機酸時需明確知悉使用無機酸之成分，並公告於作業場所。如此，於無機酸作業場所之作業勞工才

可有所依據，佩戴適當及定時更換正確之呼吸防護具及手套。於作業區域設置獨立之休息區域，使勞工休息及未佩戴防護具時能避免暴露。

三、 對於無機酸採樣之建議

進行無機酸之作業環境監測時，建議使用美國 NIOSH 於 2014 年所更新之 7906、7907 及 7908 方法進行採樣，或加入含鹼性吸收液之衝擊瓶採樣。建議可評估美國 NIOSH 之 7906、7907 及 7908 作業環境監測採樣分析方法於國內引用之適用性，以更正確評估量測作業現場空氣中無機酸之暴露濃度。

誌 謝

本研究計畫參與人員除本所蘇育揚助理研究員、陳成裕副研究員、陳正堯副研究員、鐘順輝副研究員外，另外中山醫學大學劉教授宏信、呂恆衣小姐、黃雅暄小姐等人之協助，及參與調查的事業單位之配合，謹此敬表謝忱。

參考文獻

- [1] 財團法人中技社，臺灣稀有資源循環發展策略，專題報告 2013-06，台北，財團法人中技社；2013。
- [2] 馬小康、許景翔：電子廢棄物貴金屬回收再利用之綠循環經濟產業，台北：臺灣大學機械工程研究所；2015。
- [3] 行政院新聞傳播處：推動循環經濟—創造經濟與環保雙贏，重要政策篇，2018。
- [4] 張添晉、簡碩賢：電子廢棄物循環利用與經濟效益，環境工程會刊，2017。
- [5] 行政院環境保護署：環境資源資料庫，2017。
- [6] 財團法人中技社：循環經濟的發展趨勢與關鍵議題，專題報告 2015-06，台北，財團法人中技社；2015。
- [7] Chen Y, Taiwan : The World's Geniuse of Garbage Disposal. The Wall Street Journal 2016.
- [8] 行政院環境保護署：回收集廢棄物處理，2018。
- [9] 金益鼎企業集團：循環經濟-貴金屬回收再利用案例，2016。
- [10] 陳偉聖：廢棄物中回收稀貴金屬之技術評析。永續產業發展期刊，2016：63-74。
- [11] 金益鼎企業集團官方網站：粉碎分選處理程序。
- [12] 國家衛生研究院-國家環境毒物研究中心：毒性物質資料庫。
- [13] 勞動部：勞工作業場所容許暴露標準，2018。
- [14] Occupational Safety and Health Administration (OSHA): Limits for Air Contaminants, 2012.
- [15] National Institute for Occupational Safety and Health: NIOSH Pocket Guide to Chemical Hazards ; 2016.
- [16] ACGIH annual booklet of 'Threshold Limit Values (TLVs) for Chemical Substances and Physical Agents and Biological Exposure Indices (BEIs)', 1996 to 2018.
- [17] Chimere M, van Bodegom PM, Vijver MG, Peijnenburg WJGM. Impact of informal electronic waste recycling on metal concentrations in soils and dusts. Environmental Research 2018; 164: 385-394.
- [18] Tomoko O, Go S, Hidenori M, Natsuyo U, Nguyen MT, Le HT, et al. Exposure assessment of heavy metals in an e-waste processing area in northern Vietnam. Science of the Total Environment 2018; 621: 1115-1123.
- [19] 世界青年高峰會：電子廢棄物。議題導讀，2017。

- [20] Lau WK, Liang P, Man YB, Chung SS, Wong MH. Human health risk assessment based on trace metals in suspended air particulates, surface dust, and floor dust from e-waste recycling workshops in Hong Kong, China. *Environmental Science and Pollution Research* 2013; 21(5): 3813-3825.
- [201] Caravanos J, Clark E, Fuller R, Lambertson C. Assessing Worker and Environmental Chemical Exposure Risks at an e-Waste Recycling and Disposal Site in Accra. Ghana *journal of health & pollution* 2011; 1: 16-25.
- [22] He CT, Zheng XB, Yan X, Zheng J, Wang MH, Tan X, et al. Organic contaminants and heavy metals in indoor dust from e-waste recycling, rural, and urban areas in South China: Spatial characteristics and implications for human exposure. *Ecotoxicology and Environment Safety* 2017; 140: 109-115.
- [23] Wang T, Fu J, Wang Y, Liao C, Tao Y, Jiang G. Use of scalp hair as indicator of human exposure to heavy metals in an electronic waste recycling area. *Environmental Pollution* 2009; 157: 2445-2451.
- [24] Julander SA, Lundgren L, Skare L, Grandér M, Palm B, Vahter M, Lidén C. Formal recycling of e-waste leads to increased exposure to toxic metals. *Environment International* 2014; 73: 243-251.
- [25] 陳重羽、林翊嘉、吳幸娟、李聯雄、石東生、李俊璋：廢電子電器拆解回收業勞工多溴二苯噁暴露評估。台南，國立成功大學工業衛生學科暨環境醫學研究所；2008。
- [26] Wittsiepe Ü, Fobil JN, Till H, Burchard GD, Wilhelm M, Feldt T. Levels of polychlorinated dibenzo-p-dioxins, dibenzofurans (PCDD/Fs) and biphenyls (PCBs) in blood of informal e-waste recycling workers from Agbogbloshie, Ghana, and controls. *Environment International* 2015; 79: 65-73.
- [27] Tue NM, Sudaryanto A, Minh TB, Isobe T, Takahashi S, Viet PH, et al. Accumulation of polychlorinated biphenyls and brominated flame retardants in breast milk from women living in Vietnamese e-waste recycling sites. *Science of the Total Environment* 2010; 408(9): 2155-2162.
- [28] Chen A, Dietrich KN, Huo X, Ho SM. Developmental Neurotoxicants in E-Waste: An Emerging Health Concern. *Environmental Health Perspectives* 2011; 119(4): 431-438.

- [29] Annamalai J. Occupational health hazards related to informal recycling of E-waste in India: An overview. *Indian Journal of Occupational and Environmental Medicine* 2015; 19(1): 61-65.
- [30] Grant K, Goldizen FC, Sly PD, Brune MN, Neira M, van den Berg M, Norman RE. Health consequences of exposure to e-waste: a systematic review. *The lancet global health* 2013; 1(6): 350-361.
- [31] Zeng X, Xu X, Boezen HM, Huo X. Children with health impairments by heavy metals in an e-waste recycling area. *Chemosphere* 2016; 148: 408-415.
- [32] Koo JW, Myong JP, Yoon HK, Rhee CK, Kim Y, Kim JS, et al. Occupational exposure and idiopathic pulmonary fibrosis: a multicentre case-control study in Korea. *The International Journal of Tuber Disease* 2017; 21(1): 107–112.
- [33] Terui H, Konno S, Kaga K, Matsuno Y, Hatanaka KC, Kanno H, et al. Two cases of hard metal lung disease showing gradual improvement in pulmonary function after avoiding dust exposure. *Journal of Occupational Medicine and Toxicology* 2015; 10: 29.
- [34] 毛彥喬：鈷及其化合物 (Cobalt and its compounds) 引起之中毒及其續發症。台中，台中榮民總醫院；2015。
- [35] Cao S, Duan X, Zhao X, Wang B, Ma J, Fan D, et al. Health risk assessment of various metal(loid)s via multiple exposure pathways on children living near a typical lead-acid battery plant, China. *Environmental Pollution* 2015; 200: 16-23.
- [36] Hara T, Hoshuyama T, Takahashi K, Delegermaa V, Sorahan T. Cancer risk among Japanese chromium platers. *Scand J Work Environ Health* 2010; 36: 216-221.
- [37] Cao ZR, Cui SM, Lu XX, Chen X, Yang X, Cui JP, et al. Effects of occupational cadmium exposure on workers' cardiovascular system. *Zhonghua Lao Dong Wei Sheng Zhi Ye Bing Za Zhi* 2018; 36(6): 474-477.
- [38] Bolek EC, Erden A, Kulekci C, Kalyoncu U, Karadag O. Rare occupational cause of nasal septum perforation: Nickel exposure. *Int J Occup Med Environ Health* 2017; 30: 963-967.
- [39] O'Neal SL, Zheng W. Manganese Toxicity Upon Overexposure: a Decade in Review. *Curr Environ Health Rep* 2015; 2(3): 315-328.
- [40] Newman N, Jones C, Page E, Ceballos D, Oza A. Investigation of childhood lead poisoning from parental take-home exposure from an electronic scrap recycling facility-Ohio, 2012. *Morbidity and Mortality Weekly Report* 2015; 64(27): 743-745.

- [41] Dash RR, Gaur A, Balomajumder C. Cyanide in industrial waste waters and its removal: A review on biotreatment. *Journal of Hazardous Materials* 2009; 163(1): 1-11.
- [42] Vale A. Cyanide. *Medicine* 2016; 44(3): 157.
- [43] Dhas PK, Chitra P, Jayahumar S, Mary AR. Study of the effects of hydrogen cyanide exposure in Cassava workers. *Indian J Occup Environ Med* 2011; 15(3): 133-136.
- [44] Kim EY, Kim MS, Lee JC, Pandey BD. Selective recovery of gold from waste mobile phone PCBs by hydrometallurgical process. *Journal of Hazardous Materials* 2011; 198: 206-215.
- [45] Tuncuk A, Stazi V, Akcil A, Yazici EY, Deveci H. Aqueous metal recovery techniques from e-scrap: Hydrometallurgy in recycling. *Minerals Engineering* 2012; 25(1): 28-37.
- [46] Agrawal A, Sahu KK. An overview of the recovery of acid from spent acidic solutions from steel and electroplating industries. *Journal of Hazardous Materials* 2009; 171: 61-75.
- [47] Purva SB, More KD. Acute lung injury after exposure to fumes of pickling paste in a fabrication worker. *Indian J Occup Environ Med* 2018; 22: 54-56.
- [48] Na JY, Woo KH, Yoon SY, Cho SY, Song IU, Kim JA, et al. Acute Symptoms after a Community Hydrogen Fluoride Spill. *Ann Occup Environ Med* 2013; 25: 17.
- [49] Murphy CM, Akbarnia H, FAAEM, FACEP, Rose SR, PHARMD, et al. Fatal pulmonary edema after acute occupational exposure to nitric acid. *The Journal of Emergency Medicine* 2010; 39(1): 39-43.
- [50] Rafieepour A, Dolatshahi NGT, Ghasemkhan AH, Asghari M, Sadeghian M, Asadi A. The effect of the use of NP305 masks in improving respiratory symptoms in workers exposed to sulfuric acid mists in plating and pickling units. *Electron Physician* 2013; 5(1): 616-622.
- [51] Benomran DA, Hassan AI, Masood SS. Accident fatal inhalation of sulfuric acid fumes. *Journal of Forensic and Legal Medicine* 2008; 15(1): 56-58.

附錄一 事業單位資料調查整理

A 工廠

基本資料

公司名稱	A 工廠	
員工人數	本國籍：男 32 人，女 31 人 外國籍：男 16 人，女 2 人	現場作業人員 45 人 行政人員 36 人
是否加裝外接式之抽氣或通風設備(若有請說明設備種類)	CN 剝離/電解製程、酸溶解製程裝有側吸型氣罩	
主要回收項目 (廢家電、廢 3C 產品、廢電路板、廢電池...)	A-9001(電鍍廢棄之氰化物電鍍液) D-1399(其他單一非有害廢金屬或金屬廢料混合物) D-1502(非有害廢鹼) D-1999(未納入公告之廢物品混合物) D-2527(其他以物理處理法處理之混合五金廢料) D-2612(廢電鍍金屬) E-0213(電鍍金屬廢塑膠(含光碟片)) E-0217(廢電子零組件、下腳品及不良品) E-0218(廢光電零組件、下腳品及不良品) E-0221(含金屬之印刷電路板廢料及其粉屑)	
回收物來源	能符合我司處理許可證廢棄物代碼及允收標準之廢棄物皆可收受。	
提煉項目	主產品：金、銀、鈀、鉑	
產品	主產品：金、銀、鈀、鉑	

勞工作業情況

部門名稱	作業內容	人數
貴金屬生產部	以剝離、電解回收、粗製、酸溶解、還原、精製及乾燥等技術製程，處理回收 A、B、C 及 E 類等事業廢棄物(含電解廢液、還原廢液、固態混合廢五金與廢樹脂、活性碳等事業廢棄物)，產出純度極高之金(Au)、銀(Ag)、鉑(Pt)、鈀(Pd)等貴重金屬	26

實驗室	分析貴金屬含量、樣品與成品管控	8
研發部	開發新製程、建立產線製程	5
資材部	物料存放	6

B 工廠

基本資料

公司名稱	B 工廠	
員工人數	本國籍：男 43 人，女 32 人 外國籍：男 11 人，女 0 人	現場作業人員 70 人 行政人員 16 人
是否加裝外接式之抽氣或通風設備(若有請說明設備種類)	抽風扇	
主要回收項目(廢家電、廢 3C 產品、廢電路板、廢電池...)	電鍍廢棄之氰化物電鍍液、使用氰化物之電鍍程序電鍍槽底殘留物、使用氰化物之電鍍程序清洗及氣提廢液、腐蝕性事業廢棄物、非有害性廢液、其他混合五金廢料	
回收物來源	晶圓廠、半導體廠、公告之廢家電及廢資訊物品回收業	
提煉項目	化學製程處理-貴重金屬 物理製程處理-混合五金廢料	
產品	化學製程處理-金、銀、銅、鉑、鎳、鈮、碘 物理製程處理-鐵、鋁、銅、塑膠	

勞工作業情況

部門名稱	作業內容	人數
共同部門	財務管控、環保業務、廠內維修、人事安排	20
業務	廠商接洽、技術服務	15
化金	提煉貴重金屬產品、實驗分析、產品研發	20
物料	混合五金廢料拆解與分裝	30

C 工廠

基本資料

公司名稱	C 工廠	
員工人數	本國籍：男 57 人，女 19 人 外國籍：男 29 人，女 0 人	現場作業人員 81 人 行政人員 24 人
是否加裝外接式之抽氣或通風設備(若有請說明設備種類)	包圍式氣罩	
主要回收項目(廢家電、廢 3C 產品、廢電路板、廢電池...)	廢家電、廢資訊、混合五金廢料、含貴金屬之事業廢棄物	
回收物來源	回收廠、古物商、清潔隊、電子廠	
提煉項目	金、銀、鈮	
產品	金、銀、鈮	

勞工作業情況

部門名稱	作業內容	人數
管理處	會計、出納、財務規劃、人事、行政、	13

	總務、守衛、企業行銷	
技術處	機械設備之研發、推廣、銷售、製作、 保養、管理、維修、操作	8
營業處	業務；清運機具管理及調度；廢家電、 資訊物品及事業廢棄物清除、下貨、堆 棧及處理、貴金屬融煉及精煉	84

D 工廠

基本資料

公司名稱	D 工廠	
員工人數	本國籍：男 66 人，女 36 人 外國籍：男 28 人，女 2 人	現場作業人員 84 人 行政人員 48 人
是否加裝外接式之抽氣 或通風設備(若有請說 明設備種類)	袋式集塵器/75HP 風車旋風分離器	
主要回收項目(廢家 電、廢 3C 產品、廢電 路板、廢電池...)	廢電子零件、廢積體電路、廢印刷電路板等固體廢棄物清除處理	
回收物來源	A.半導體工業(設計、製造、封裝、測試) B.印刷電路板業(PCB、BGA、FPC....)	
提煉項目	金、銀、鈮、鉑	
產品	金、銀、鈮、鉑	

勞工作業情況

部門名稱	作業內容	人數
回收部	破碎、粉碎電子廢料	6
精密洗淨課	檔板噴砂作業	3
精鍊一課	電析作業	4

E 工廠

基本資料

公司名稱	E 工廠	
員工人數	本國籍：男 94 人，女 16 人 外國籍：男 3 人，女 0 人	現場作業人員 89 人 行政人員 21 人
是否加裝外接式之抽氣或通風設備(若有請說明設備種類)	局部排氣設備-反應槽氣狀物收集到洗滌塔處理 集塵設備-粒狀物溢散收集	
主要回收項目(廢家電、廢 3C 產品、廢電路板、廢電池...)	廢液、廢電路板、廢靶材	
回收物來源	客戶端(事業單位)、公司製程下腳品	
提煉項目	金、銀、鎳、白金、鈮	
產品	貴金屬回收	

勞工作業情況

部門名稱	作業內容	人數
------	------	----

PGE 回收精煉課	Pt、Pd 回收	11
取樣課	乾式取樣、重熔取樣、酸溶取樣、Pilot(鎳產線)	30
熱處理課	焚化爐作業	11
鋼回收精煉課	鋼回收	11

F 工廠

基本資料

公司名稱	F 工廠	
員工人數	本國籍：男 224 人，女 50 人 外國籍：男 61 人，女 0 人	現場作業人員 265 人 行政人員 70 人
是否加裝外接式之抽氣或通風設備(若有請說明設備種類)	局部排氣設備-反應槽酸.鹼氣收集到洗滌塔處理 集塵設備-粒狀物溢散收集	
主要回收項目(廢家電、廢 3C 產品、廢電路板、廢電池...)	廢靶材、含貴金屬廢液、車屑料	
回收物來源	客戶端(事業單位)、公司製程下腳品	
提煉項目	金、銀、鋼、鉍、鉛、鈷	
產品	硝酸銀、ITO 粉、銀粉、金錠、銀錠、銀粒、銀水花、金條、金粒、鋼粒、鋼板、TaZr(鉍鉛渣)、Co(氫氧化鈷)、金屬線、貴金屬渣、氯化鋁水溶液、氰化銀鉀、氰化金鉀、氰化銀、靶材	

勞工作業情況

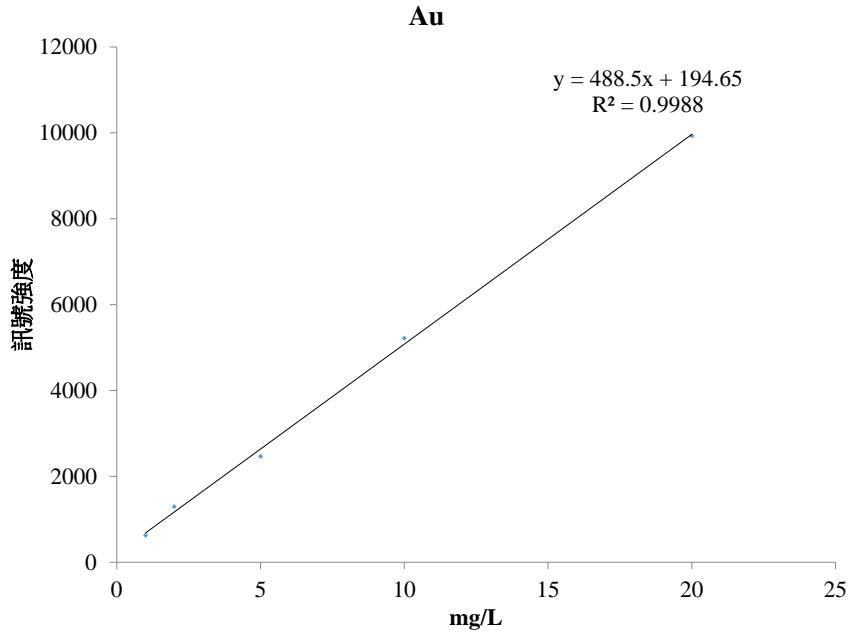
部門名稱	作業內容	人數
------	------	----

SUL 回收精煉課	鉍鉛渣精煉	3
粉末課	製造 ITO 粉	17
ITO 回收精煉課	精煉銻	12
金銀精煉課-GCR	精煉金	7
金銀精煉課-銀電解	銀回收	8
金銀精煉課-LBMA	鑄造銀錠	8

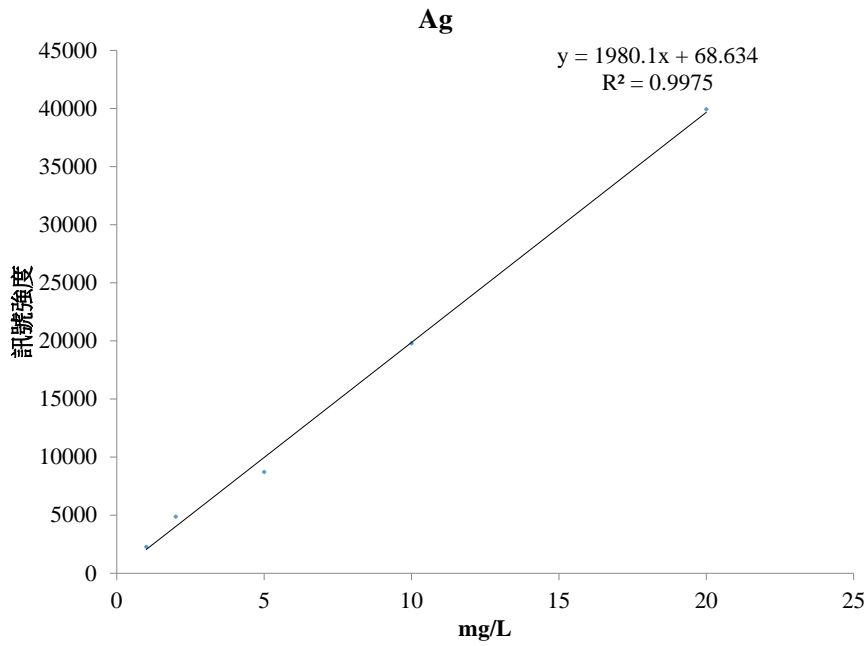
附錄二 各金屬之分析檢量線及回收率

一、分析檢量線：

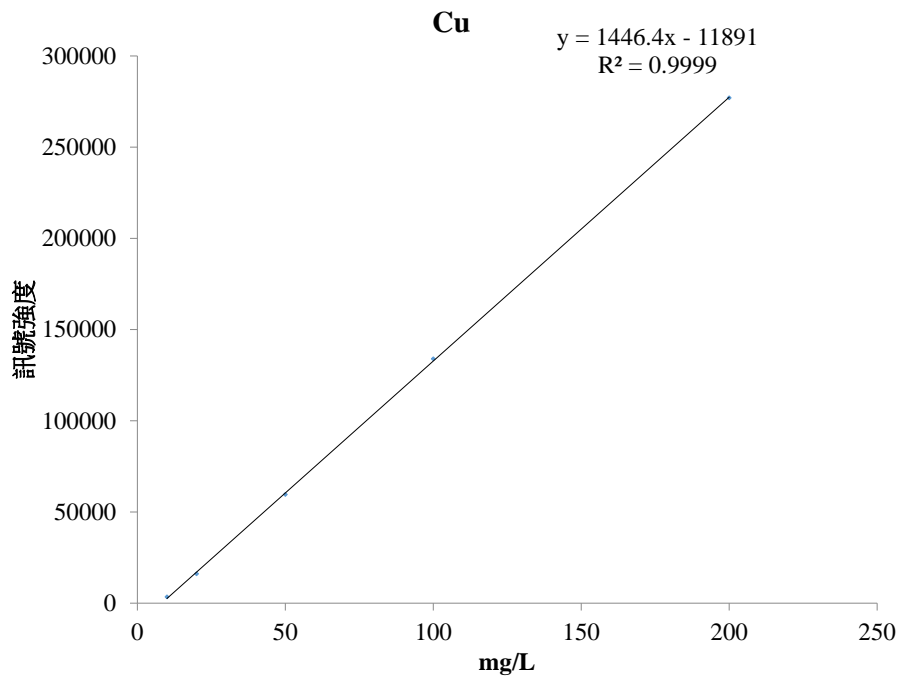
金



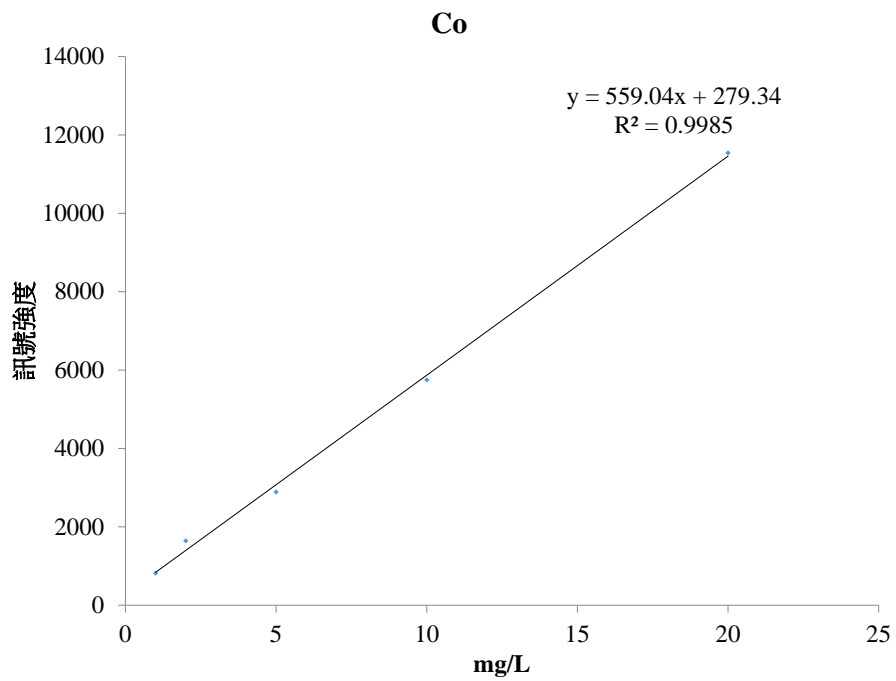
銀



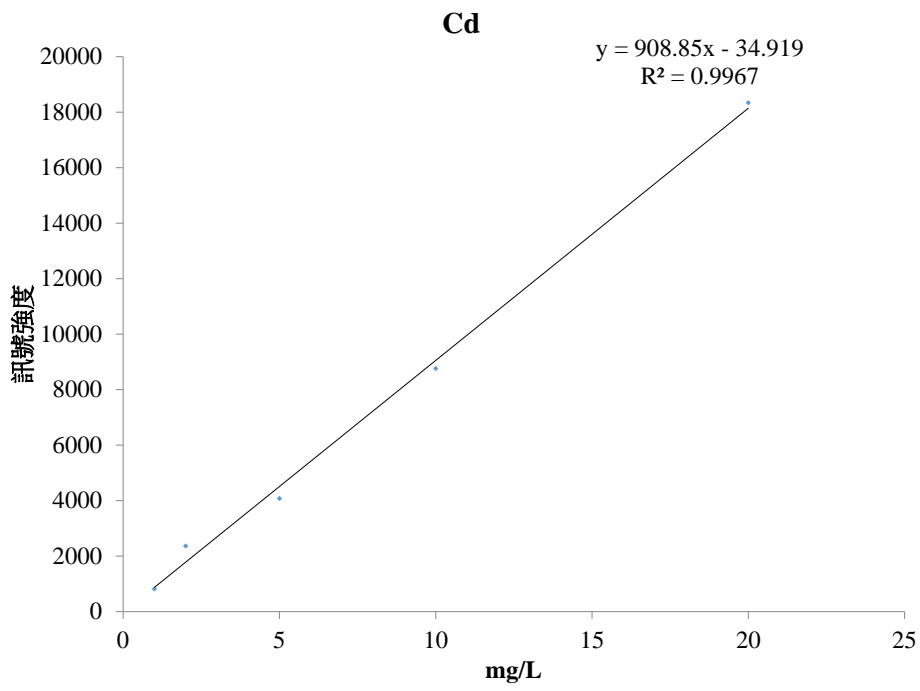
銅



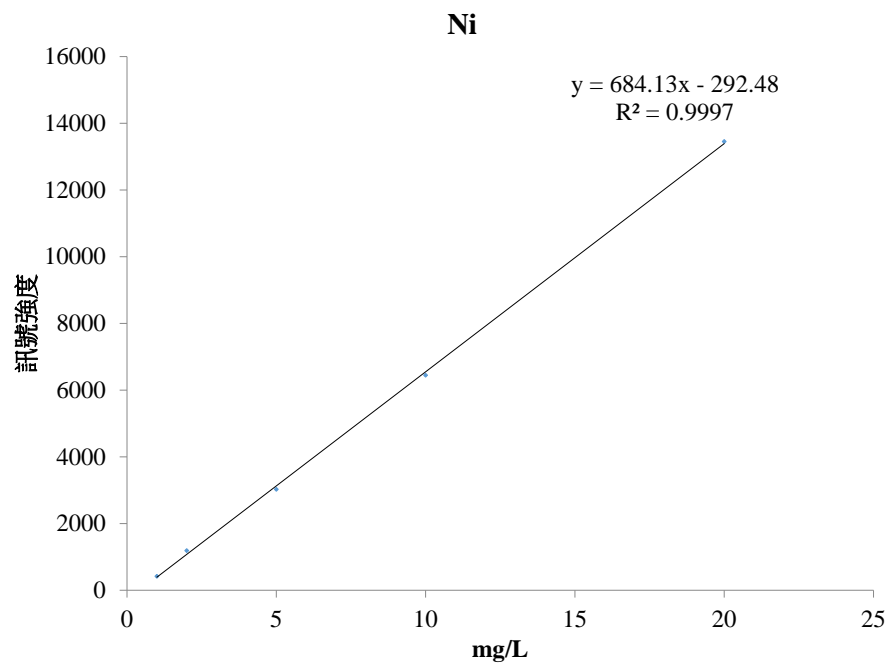
鈷



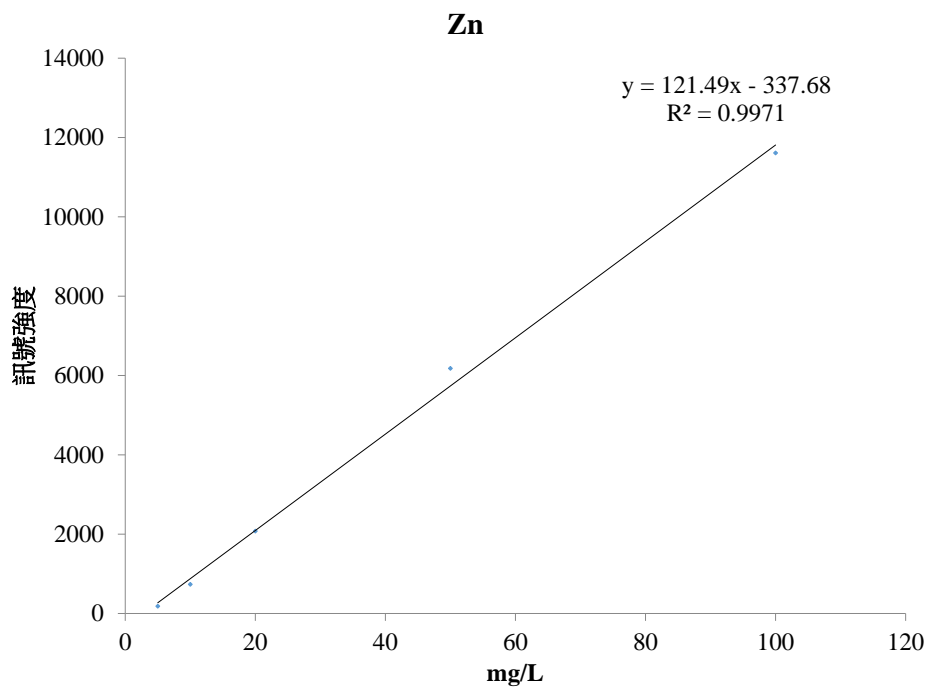
鎘



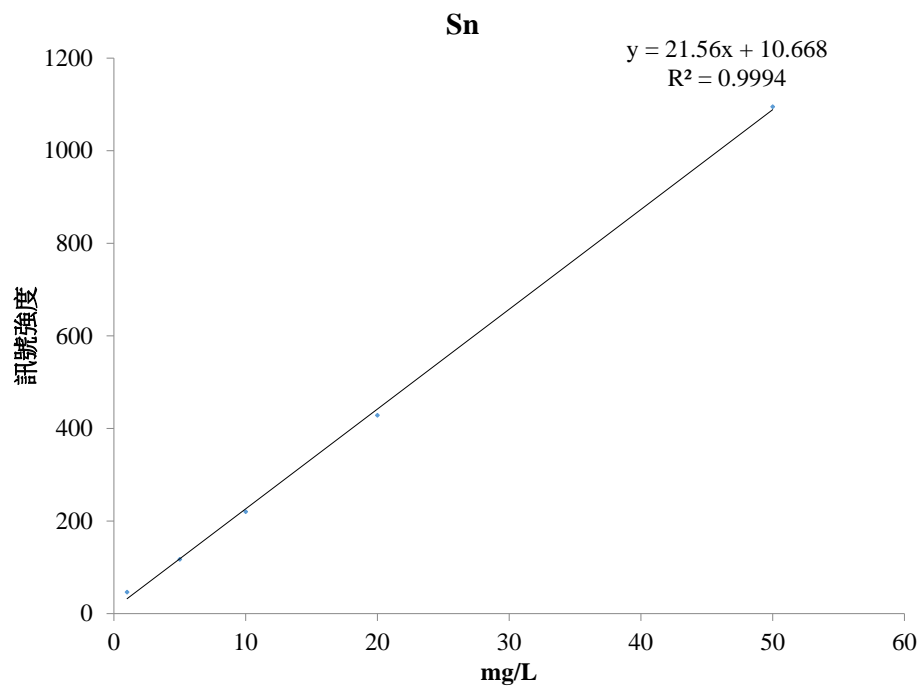
鎳



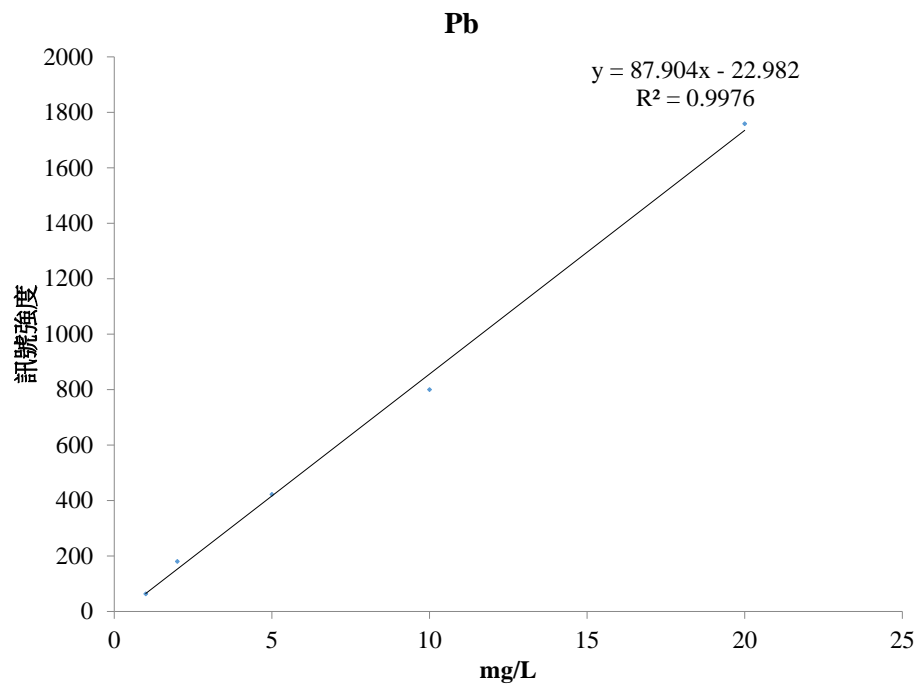
鋅



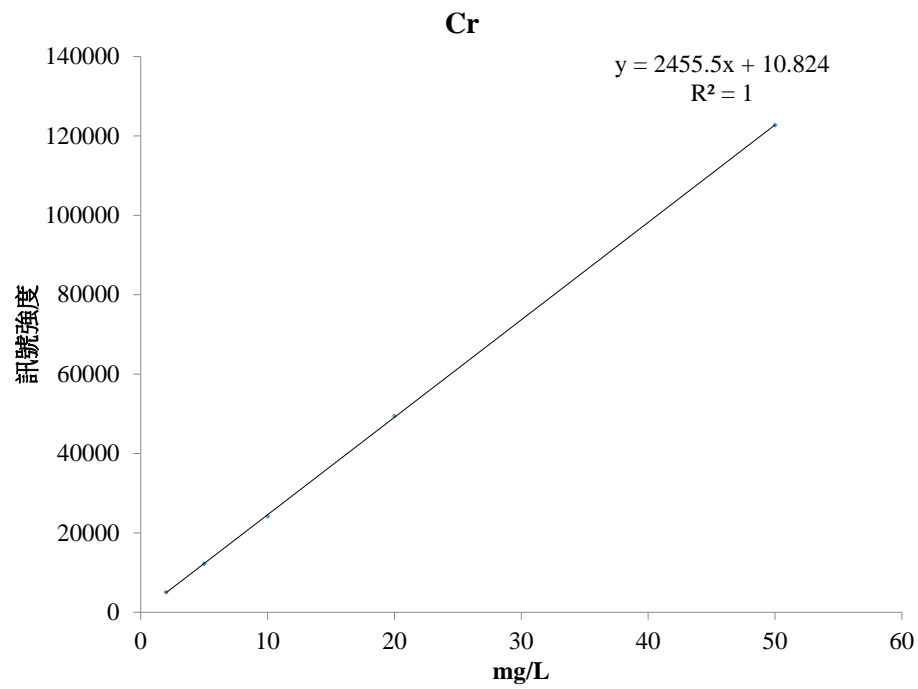
錫



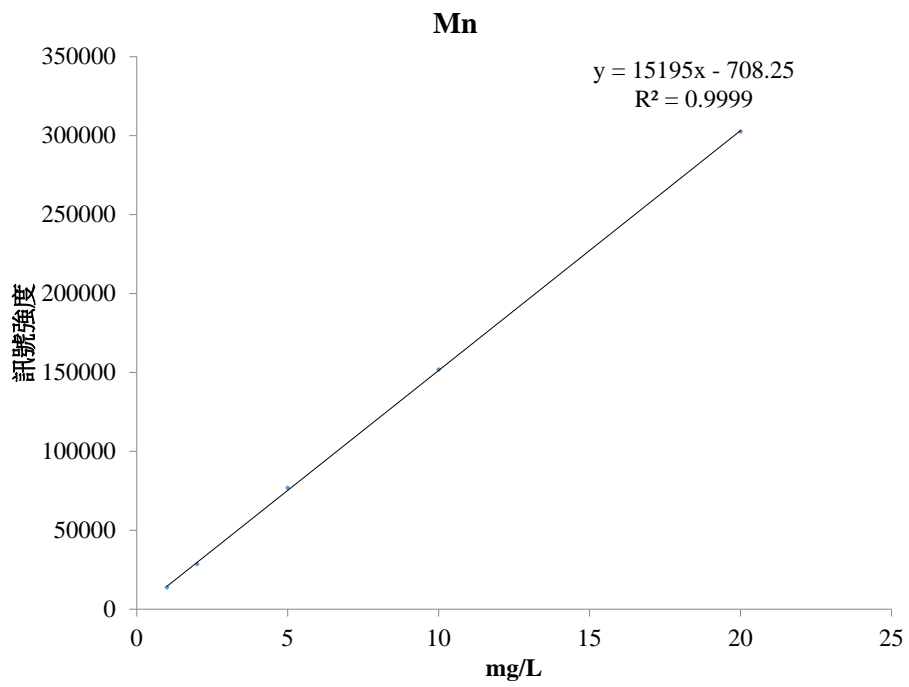
鉛



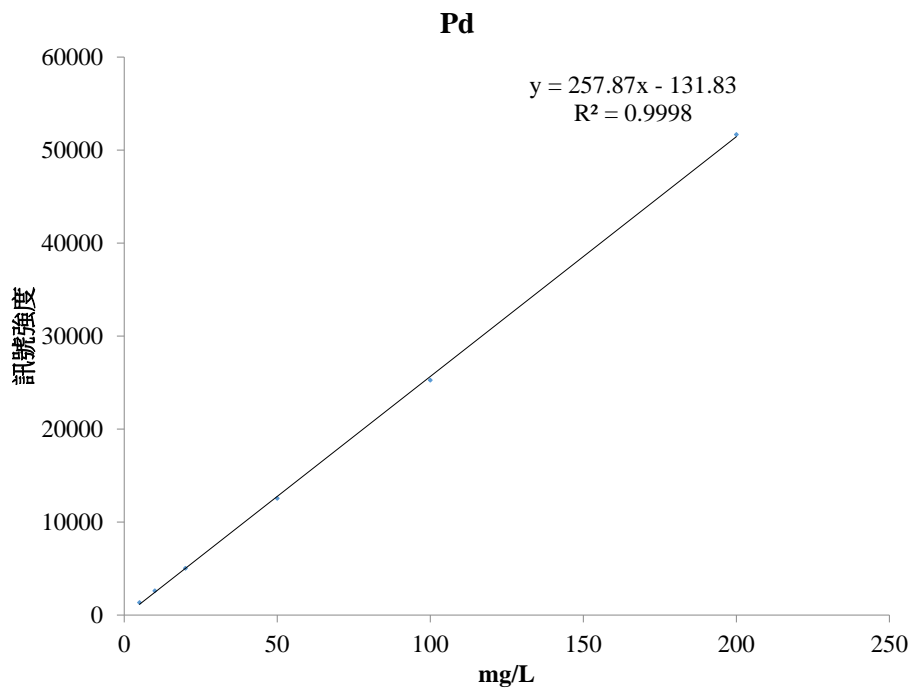
鉻



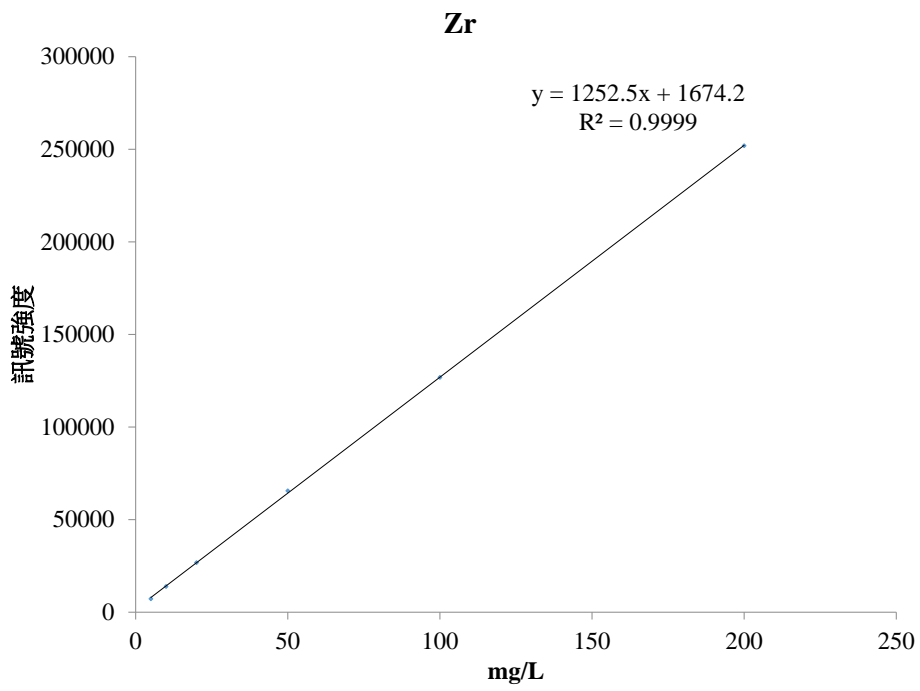
錳



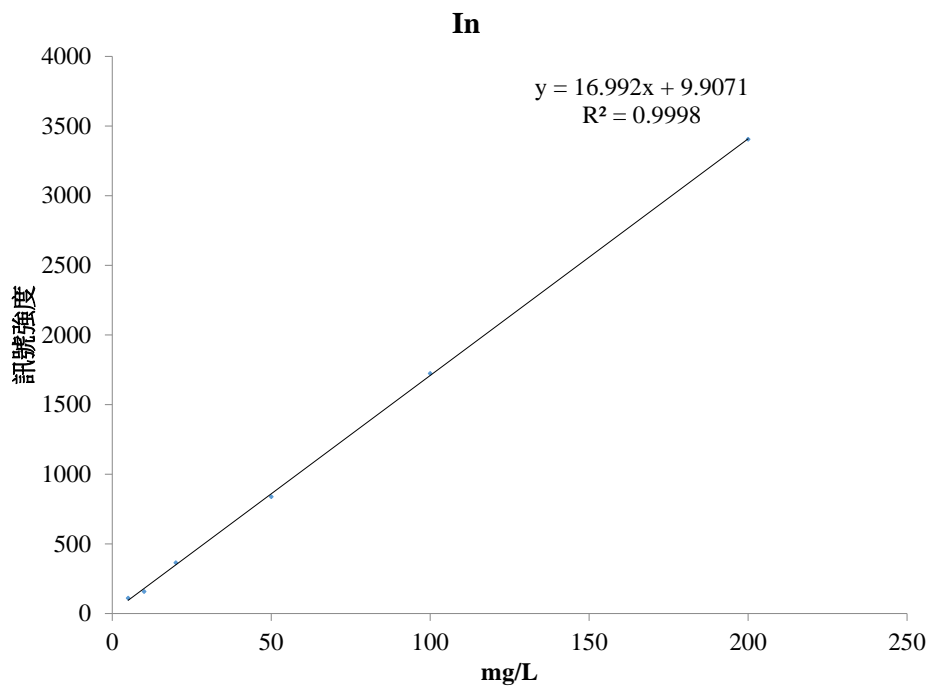
鈀



鋯



銦



二、金屬回收率

金屬	Au	Ag	Cu	Co	Cd	Ni	Zn
回收率	99.6%	96.5%	103.1%	100.5%	99.3%	100.2%	83.6%
檢量下限 ($\mu\text{g/L}$)	1.73	1.91	2.49	2.42	2.17	2.08	2.39
金屬	Sn	Pb	Cr	Mn	Pd	Zr	In
回收率	101.7%	100.9%	101.5%	98.7%	90.4%	91.3%	89.2%
檢量下限 ($\mu\text{g/L}$)	2.78	1.80	2.24	2.81	2.80	2.94	1.50

國家圖書館出版品預行編目資料

我國資源再生產業金屬回收作業勞工危害暴露調查研究 /陳成裕, 劉宏信著. -- 1 版. -- 新北市：勞動部勞研所, 民 10806
面；公分
ISBN 978-986-05-9081-4 (平裝)

1.勞工衛生 2.職業衛生

412.53

108006406

我國資源再生產業金屬回收作業勞工危害暴露調查研究
著者：陳成裕、劉宏信

出版機關：勞動部勞動及職業安全衛生研究所
22143 新北市汐止區橫科路 407 巷 99 號
電話：02-26607600 <http://www.ilosh.gov.tw/>

出版年月：中華民國 108 年 6 月

版（刷）次：1 版 1 刷

定價：200 元

展售處：

五南文化廣場
台中市區中山路 6 號
電話：04-22260330

國家書店松江門市
台北市松江路 209 號 1 樓
電話:02-25180207

- 本書同時登載於本所網站之「研究成果／各年度研究報告」，網址為：
<https://laws.ilosh.gov.tw/ioshcustom/Web/YearlyReserachReports/Default>
- 授權部分引用及教學目的使用之公開播放與口述，並請注意需註明資料來源；有關重製、公開傳輸、全文引用、編輯改作、具有營利目的公開播放行為需取得本所同意或書面授權。

GPN: 1010801232

ISBN:978-986-05-9081-4

勞動部勞動及職業安全衛生研究所

INSTITUTE OF LABOR, OCCUPATIONAL SAFETY AND HEALTH, MINISTRY OF LABOR



地址：新北市汐止區橫科路407巷99號

電話：(02) 26607600

傳真：(02) 26607732

網址：<http://www.ilosh.gov.tw>

ISBN 978-986-05-9081-4



9 789860 590814

00200

GPN:1010801232

定價：新台幣200元