

第十二章 污染防治與清潔生產

單元索引

- 12.1 水污染的防治技術
- 12.2 空氣污染防治技術
- 12.3 土壤污染防治
- 12.4 重要的垃圾處理法
- 12.5 一般廢棄物的回收
- 12.6 工業廢棄物回收
- 12.7 清潔生產之意義
- 12.8 清潔生產製程與傳統製程之差異
- 12.9 清潔生產指標之建立
- 12.10 清潔生產指標的應用
- 12.11 清潔生產指標評估程序
- 12.12 結語

單元索引

1. 了解水、空氣、土壤的污染防制方法及廢棄物的回收與再利用。
2. 了解清潔生產的意義與清潔生產製程的益處？
3. 在了解了污染預防、工業生產及清潔生產彼此的關係之後，期望能增加生態效益，並減輕對人類健康與環境的風險，進而建立永續生存與發展的生活環境。

前言

全球性的環境污染與生態破壞，不僅導致環境生態的失衡，也威脅人類的永續發展。地球環境為地球上生存的所有生物所共有，且唯一的財產，環境污染的問題，不再只是區域性的議題，已成為全球所需要共同關切的課題。因此，各產業除了應善盡環境保護責任，以符合環法規與國際協定的基本要求外，更應該展現符合環境績效與產品環保的訴求，同步追求企業與環境的永續發展。

自1972年在聯合國召開「人類環境會議」以來，各種國際環保公約或區域協定陸續被提出，這些公約或協定設立的主要精神，即在共同維護地球生態環境的永續發展。例如，因應氣候溫暖化的「氣候變化綱要公約」、為保護臭氧層的「蒙特婁議定書」、規範廢棄物越境轉移的「巴塞爾公約」，皆尋求共同解決全人類所面臨的生態環境污染問題，而且這些國際環保公約或協定，為了增加其可行性，往往也包括了許多貿易產品的限制或報復條款，對於貿易依存度較高的國家或產業，造成直接衝擊或影響，環保問題與工業生產間的互動，日益密切。

環境污染的產生有一個從量變到質變的發展過程，當某種能造成污染的物質的濃度或其總量超過環境自淨的能力，就會產生危害。目前環境污染產生的原因是資源的浪費和不合理使用，使有用的資源變為廢物進入環境而造成危害。

為了因應企業與環境永續發展的國際趨勢，從1980年代開始，國際間已陸續提出「污染預防」、「工業減廢」、「環境管理」、「清潔生產」等相關理念、技術、活動或管理系統，其中更以「清潔生產」為產業環保工作落實最有效且最基礎的工作。基於此，本節特別針對「污染防治」、「清潔生產與製程」等相關內容，加以撰文闡述說明，希望讀者對於永續發展及其參考之清淨製程，有更深入的瞭解。

12.1 水污染的防治技術

台灣是一座海島，四面環海，又山陡、河短流急，故淡水取得不易。在台灣本島共有21條主要河川，29條次要河川，79條普通河川。環保署公布八十二年度全年的河川水質監測資料，發現全台僅有39%的河川河段達到標準，逾六成的河川河段水質並不符合標準，且在八十七年度環保署公布水庫水質的檢測結果，在台灣地區二十座主要水庫中，高達十四座有優養化的現象，且有逐年增加的趨勢，皆是水污染造成的。水污染的來源有許多，主要約可分為四項：

一、家庭污水

包括廚房、洗衣、衛浴等等。其中家庭清潔劑中所含有的磷，正是造成家庭廢水的主要來源，磷會促使水質優養化，幫助水中藻類繁殖，水中生物因缺氧而大量死亡，嚴重破壞水中生態平衡。大部分的家庭用水都未經處理，就放流至河川中，造成嚴重的污染。

二、工業污水

工業釋放的廢水，有些含有多種毒性物質和重金屬，若未經處理即任意放流，將會造成嚴重的污染。例如：國內第一宗的地下有機污染RCA桃園廠污染案即是；在經過四年的整治，負責整治的美商奇異公司正式向環保署提出被污染的地下水已無法整治了，假若使用不當的整治方法只會讓污染越來越嚴重而已，建議採用自然衰減法，讓污染藉著自然力量衰減，估計要到二千零二十五年，在廠外的部分地下水才可減至符合飲用的標準。

三、農牧業污染

台灣地區數萬養豬戶所造成的排泄物污染也是水污染的主要來源，而飼養雞、鴨、魚、鵝和牧養牛、羊、鹿所造成的污染也十分嚴重。另外在農業中所使用含氯殺蟲劑，如：DDT，會殘留在土地中，經雨水沖刷帶入水域，進入食物鏈中，所有生物都無法避免這重大的災害。另外農業上使用含氮、磷的肥料沖入水中，會造成優養化現象，嚴重破壞生態平衡。

四、其他污染

垃圾掩埋場處理不當形成的垃圾污水，醫院所排出具感染性的污水，拆卸廢棄船、油管破裂、化工廠化學品外洩等所造成的水污染皆是相當可觀的。

目前現代化的國家，都經由下水道將污水集中於污水處理廠，進行淨化處理。污水的處理可分為三大步驟：第一級處理先去除水中的漂浮物及懸浮固體，並具有中和或調和功能以為接下來的二及處理做準備。其中的程序包括篩除、沉澱、油脂分離、浮除及調和與中和。第二級處理則主要是針對經過第一級處理沉澱的污水，再進行沉澱池及滴濾池內生物的處理。其中包括標準滴濾法、旋轉生物圓板法以及標準活性污泥法。最後利用第三級的處理方法，包括顆粒濾料過濾法以及活性炭處理技術。

12.1.1 一級處理 (primary treatment)

一級處理主要是用以去除水中的漂浮物及懸浮固體，並具有中和或調和功能以做後繼之二級處理 (secondary treatment)。一級處理主要包括有：

1. 篩除 (screening) :

在其他處理方法前先用以去除較大的固體。柵篩 (screen) 在一般城鎮污水處理，多設置於處理廠的前端，目的在先移除水中較粗的物質。今日所使用的柵篩型有以下幾種：以人工或機械循環鏈條清除的粗柵 (一般常用者)、固定式柵篩、迴轉式柵篩、振動式柵篩及離心式柵篩 (後三者廣泛用於工業廢水處理)。

2. 沉澱 (sedimentation) :

係用以去除水中之懸浮物體。由於懸浮固體存在的性質不同，沉澱可分為三類：單獨沉澱 (discrete)、混凝沉澱 (flocculent settling) 與層沉澱 (zone settling)。單獨沉澱在沉降過程中，顆粒始終維持其獨立性，大小、形狀及密度均不變。飛灰、煤渣與沉砂池 (grit chamber) 中的沉澱屬於此種。混凝沉澱的發生是當沉降過程中顆粒有凝聚 (agglomerate) 作用，沉降速度及顆粒大小會隨時改變，一般家庭廢水、紙漿及造紙廢水為其例。層沉澱包括由膠凝狀態懸浮物形成的格子狀結構 (lattice structure)，以塊狀層降，上澄液與沉澱固體間出現明顯界面，如明礬膠羽 (floc) 及活性污泥之沉澱等皆是。

3. 油脂分離 :

對於自由 (free) 與漂浮 (floating) 式油脂可以藉重力澄清 (gravity clarification) 的方式由廢水中分離出來。係利用油脂的比重較水小，可以浮在分離器表面而加以移除。若油脂呈分散狀態 (dispersed)，則在重力分離器前需先加入凝聚或助凝劑 (coagulant aids)，或加入混凝劑使油脂與較重物結合，而能沉降到重力沉澱槽內。空氣浮除 (air flotation) 也常應用於增進油脂分離的效果。乳化 (emulsified) 油脂則必須先利用加熱或化學藥品破壞其乳化狀態，成為自由態後，再藉重力沉澱或空氣浮除加以分離。

4. 浮除 (flotation) :

是將水中物質顆粒浮至水面而刮除。浮除的過程是將氣體注入液體中，使之成過飽和，然後在大氣壓下放出溶解氣體，這種機構使小氣泡與懸浮物質或油脂結合，降低比重，增進分離效果。

5. 調和與中和 :

用以降低或控制廢水特性的變動，使一連串的处理過程均能在適當的情況下進行。例如，減低物理化學處理系統中流量的變化，並與加藥機配合，控制加藥量。或是適當控制pH，保持生物處理系統的正常功能.....等。

12.1.2 二級處理 (treatment)

二級處理是對經過一級處理沉澱後的污水，再進行沉澱池及滴濾池內的生物處理。污水之生物處理 (Biological treatment) 乃利用微生物之代謝作用，使污水中之微細有機物及溶解性有機物達到安定化，並於最終沈澱池將生物性污泥予以分離的處理方法。且依有無供氧情況，分為好氧性處理 (Aerobic treatment) 及厭氧性處理 (Anaerobic treatment)。再依微生物生長方式可再分為懸浮生長式 (Suspended growth) 及接觸生長式 (Attached growth)。其中：

好氧性處理在反應槽中供給氧氣，使廢水中的有機物 (如碳水化合物、蛋白質、脂肪等) 被好氧性微生物分解成穩定物質的方法。如活性污泥法、滴濾池法、迴轉生物盤法等屬於好氧性處理。厭氧性處理在密閉反應槽中 (缺氧狀態下)，使廢水中的

複雜有機物被厭氧性微生物分解成穩定物質的方法。在厭氧狀態，有機物之穩定化係由酸性生成菌及甲烷菌分二階段完成。如厭氧接觸法、厭氧濾床、厭氧流動床等屬於厭氧性處理。懸浮生長式用來分解有機物之微生物，在反應槽中保持懸浮狀態生長的方法，例如活性污泥法及厭氧接觸法。接觸生長式用來分解有機物之微生物，在反應槽中附著在惰性物質(如PVC盤、玻璃纖維或礫石)上生長的處理方法，例如迴轉生物盤法、滴濾池法。最主要的三種方法：標準滴濾法、旋轉生物圓板法及標準活性污泥法，分述如下：

標準滴濾法〈coupled trickling filter, TF〉由滴濾池過濾污水，滴濾池內採用河川石或波浪板提供微生物生長，形成生物濾床，主要用為有機碳氧化、硝化及脫硝作用。有機碳氧化，由一般微生物在有氧狀況下分解水中有機物，降低污水有機物的量；硝化作用由硝化菌將氨態氮轉化成硝酸氮，去除水中氨、氮含量；脫硝作用，將硝酸氮轉換成氮氣，再由曝氣作用排放；有較佳的總氮去除效果，更可進一步將水濁度及致病性微生物去除，提供頗良好的出流水水質。旋轉生物圓板法〈rotating biological contactor, RBC〉為圓板片為微生物的支撐介質，由一根主軸支撐，並有 40% 左右浸在污水中，圓板持續轉動讓微生物間歇與污水接觸曝曬，使微生物代謝分解溶解性及顆粒性有機質，並與空氣接觸而致有氧的傳輸。此種微生物是一種絲狀菌稱為 Beggiatoa，可附著於旋轉介質上。Beggiatoa 是一種硫利用菌，可將硫化氫轉換成硫元素以獲得能量，並利用有機質為碳源。有機物過多會造成靠近介質的生物膜形成缺氧現象，厭氧環境會導致硫化氫產生，使 Beggiatoa 過度生長對硬體造成傷害。標準活性污泥法〈activated sludge, AS〉活性污泥法的處理與污水自然淨化原理相同，乃在污水中通以空氣或表面曝氣，並使污水與活性污泥相混合，污水中所含的溶解性、膠狀及懸浮狀的有機質則和微生物在一起，這些微生物接著會被分離開，達到污水中的有機物被去除的效果。此種微生物是絲狀菌，容易擴張生物膠羽的體積，而降低沉澱速度，其中主要形式如下所示：

2.1.3 三級處理(tertiary treatment)

三級處理的方法包括顆粒濾料過濾法及活性碳處理技術。後者則因為其實際上已在污水處理技術上被應用多年，並具有控制毒性有機污染物的功能，是其重要之處。

顆粒濾料過濾法(granular media filters)：「顆粒濾料填充床」是其主要的設備，主要功用是控制污水中懸浮物的排放。方法即是讓已經過生物處理程序的污水，以向下流(downflow)的方式通過此填充床。在水流流經填充床時，原本存在污水中的懸浮固體物即可因為無法通過而被移除。當然，懸浮物會因此在濾床上慢慢累積，進而影響過濾的速度。此時就應該停止進水，並且利用反沖洗的方法去除累積的固體物。

活性碳處理技術：活性碳(activated carbon)是一種人造的材料，因為其具有很高的內部表面積，藉此吸附溶液中為溶解性的有機物。由於定量的活性碳所能吸附的能力是固定的，因此，當其吸附能力達到相當程度的損失時，活性碳應以予再生。其中「熱再生程序」是最常見的。此法即在高溫且氧供應受限的環境下，使得已被吸附的有機物脫落且被氧化分解，讓原本被佔據的位置可再度被利用。活性碳可分為顆粒式(granular activated carbon, GAC)，或粉末式(powdered activated carbon, PAC)。GAC可用「柱塞流」(plug flow)的方式，使其吸附能力達到最高效果。另外

還有反應床類型的「吸附管柱」(column)，分為向上、向下流兩種方式。PAC則通常直接加入活性污泥的曝氣槽中，以達到效果。

12.2 空氣污染防治技術

12.2.1 分離法

明白污染物和氣體分離並非減少空氣污染之步驟，因污染仍然存在，需設法處置，否則空污問題雖解決，但固體垃圾及水源污染問題仍然存在。不過，這種轉變至少使問題簡單，因為處理少量的固體垃圾遠比處理氣態來得方便。一般來說，污染空氣中的污染物含量是0.1% 0.01%(即1/1000 1/10,000)，注意氣體所佔的體積大部分是空的。

1. 典型的袋狀過濾器

多氣孔介質的過濾器容許氣體通過，而擋住微粒物質。因為粒子較氣體分子大，所以，這種分離辦法可能成功。為了處理大量氣流，過濾器通常成圓筒狀，類似大型長筒襪狀，過濾器隔離出的微粒物質需定期傾倒。

2. 旋風式集塵器

各種機械收集器都根據一個事實：粒子“重於”氣體分子。是以，粒子沉降較速，最後聚積一處。除沉降速度之外，更重要的道理是：較重之粒子“慣性”較大。所以，一股含有微粒污染物的氣流在旋轉時，其中的粒子會逐漸下沉，終至聚積在容易清除的位置。這種收集器稱為旋風分離器。

3. 噴霧集塵器

氣態污染物不能藉機械的方法收集，因為其分子未必大於或重於空氣分子。不過，一些氣態污染物比空氣更易溶於某種液體（通常是水），所以，使之緊密接觸該種液體，即能達到收集的目的。利用這種分離法的設計稱為滌氣器（即洗滌集塵器）。使氣體與液體緊密接觸的方法有：(A)向氣體噴灑該種液體(B)使氣體通過該種液體。氨氣 NH_3 就是一例、氨氣溶於水，所以，能夠從氣流中被沖刷出來。

4. 靜電沉降器

粒子可能負有電荷，於是，負有相反電荷的收集面能夠吸引之。這種器具稱為靜電集塵(沉降)器，用途甚廣。使用化石燃料的發電廠多數用此機器減少煙塵。

12.2.2 吸附法

氣體分子會依附於固體表面；縱使在十分清潔，如光瑩亮潔的銀片之表面上，亦覆有一層與之緊密接觸之氣體分子。此所謂氣體被固體吸附，「吸附」意為“附

著在一種物質的表面”，與意為“吸入一種物質的內部”之「吸收」不同。譬如錢幣這類非多孔的普通固體物質，其所能吸附的氣體數量很少，不足以作為收集污染物之憑藉。

但是，如果固體為含有微小細孔之網狀組織，其全部表面積（包括細孔的內部表面）則大增，收集氣體的數量也就相當可觀。這類的固體代表者為活性碳，每磅活性碳可能有好幾十萬平方呎的表面積。天然含碳物質均可製造的方法是：將之燒焦、再與極高溫的蒸氣作用，所得的產物能吸收其重量10%之氣體物質，可供空氣淨化之用。此外，如果活性碳所吸附的物質有利用的價值，則可還原出來，回到原來的過程或產物之中。

實用裝置為二階吸附系統，污染之氣流向下流過第一部吸附器，淨化的空氣由此逸入大氣；同時，第二部吸附器已處於飽和狀態，正利用一股向上的清潔蒸氣在進行處理，該道蒸氣經過冷凝手續，吸附器中的物質即被還原。吸附基床含有直徑約1/8吋的活性碳粒子，氣體經過最細氣孔時，膨鬆粒狀物質構成的基床即能有效地淨化之，氣體分子在二次碰撞之間運動極速，這種迅速的運動受整股氣流緩慢流速的影響，其分子在很短時間內就能與粒狀吸收物的表面接觸，達到淨化目的。

12.2.3 轉化法

迄至目前，空氣的氧化是最重要的污染物轉變法。氧化法常用來處理毒害性大的物質及有機氣體或蒸氣，甚少用於微粒物質。有機物質若僅含有碳、氫、氧，經完全氧化後，其唯一的產物是二氧化碳和水，二者皆無害於人體。但是，這種過程往往需要很高的成本；因為，氣流在足夠的高溫下（約700~1000℃）才能完全氧化，要維持這樣的高溫，必須使用相當數量的能量。如果污染物濃度很大，其本身具有燃料價值或可抵大部分能量，例如熱解法便是。而且可以利用觸媒來降低氧化所需的溫度。除了空氣之氧化外，許多化學轉變法也有實行的可能。譬如：以化學物質中和酸或酸基，以氯或臭氧來氧化污染物，或是以觸媒催化還原法等，都是。

12.3 土壤污染防治

係防止土壤遭受污染和對已污染土壤進行改良與治理的活動。土壤保護應以預防為主。預防的重點應放在對各種污染源排放進行濃度和總量控制：對農業用水進行經常性監測、監督，使之符合農田灌溉水質標準；合理施用化肥、農藥，慎重使用下水污泥、河泥、塘泥；利用城市污水灌溉，必須進行淨化處理；推廣病蟲草害的生物防治和綜合防治，以及整治礦山防止礦產毒物污染等。改良治理方面，因重金屬污染者多係採用排土、客土改良或使用化學改良劑，以及改變土壤的氧化還原條件使重金屬轉為難溶物質，降低其活性；對有機污染物如三氯乙醛可採用鬆土、施加鹼性肥料和石灰等、耕翻晒壟、灌水沖洗等措施加以治理。加強環境立法和管理。如日本根據土壤污染防止法，對特定有害物質例如：鎘、銅、砷，凡符合下列條件的，即定為治理地區，需由當地政府採取治理措施：糙

米中鎘濃度超過或可能超過1mg/kg的地區；水田中銅濃度用0.1N鹽酸提取、測定，超過125mg/kg的地區；水田中砷濃變(0.1N鹽酸提取)在10~20mg/kg以上的地區，均為列管、防止種值糧食作物，改種纖維作物或花卉等。

12.4 垃圾處置方法

12.4.1 掩埋法

是將垃圾倒棄在低窪地區，是為一種較迅速並低廉地改善環境衛生的方法。乃利用壓實的工程技術使垃圾的面積及體積減低到最少量。掩埋法的操作技術，現在發展中有下最四種：

1. 壕溝法：

在水平地形區，壕溝法常被採用，在地面挖掘壕溝，溝深6~10呎(2~5公尺)，溝寬12~36呎(30~120公尺)，視地面情形而定，惟地下水位必較溝低低3~4呎(1.5公尺以上)。操作時將垃圾倒入壕溝內壓實，然後利用挖掘壕溝挖起的土壤作覆蓋的土壤。壕溝之挖掘可在操作前挖好或一面操作一面挖溝。

2. 區域斜坑法：

亦稱斜坡法，本法適用於中等坡度之地區，挖出之土壤用作覆蓋垃圾及製造斜坡垃圾堆積之高度，以使它達到原來的地平線高度。

3. 區域填土法：

低窪地區海埔新生地、沼澤、不用的廢採石地，山谷都適用本法，將垃圾倒棄於上述地方，再自外地運來覆蓋土覆蓋垃圾。凡採用填土法處理垃圾必須達倒下列要求，填土處斜坡以30°為度，每日覆土的厚度為6吋(0.2公尺)，垃圾之深度以不超8呎(2.5公尺)為度，最後一層的覆土至少需2呎(0.6公尺)以上。作業時設置貯存(擋土牆或圍堤)與阻斷(不透水層與滲出集水管及排氣管等)結構物後，以三明治式或單體式由貯存結構物之下游往上游依次掩埋。

4. 峽谷法：

亦稱窪地法，適於特殊地形如峽谷、深谷或溪谷等地利用掩埋垃圾。其構築必要之貯存、阻斷等設施後，由谷底之下游往上游掩埋，而不可由上往下傾棄，以免妨礙集、排水。底層面積窄小時可先採用三明治式，掩埋面積大後即可用單體法。

12.4.2 衛生掩埋法

一般廢棄物對於環境的污染和破壞，範圍之廣與影響之深，以台灣目前各地方政府遭受「垃圾大戰」的威脅，以及全省垃圾處理現狀，絕大多數以露天堆積和所謂「衛生掩埋法」來解決問題，實質上造成潛伏的土壤污染。現先就垃圾掩埋的方法提出改進檢討。

衛生掩埋法處理要點：係將垃圾埋入地下使其腐敗性有機物，通過土壤中微生物的分解而土壤化，稱為「衛生填埋」，但實質上未顧及到生物處理。生物處理分好氧處理和厭氧處理。對垃圾，從環境保護出發，當然最好採用好氧菌（如好氧芽孢桿菌等）分解處理。

按「衛生」要求一次填埋垃圾的高度應小於3公尺，上部部要用厚度為20-30厘米砂土覆蓋，垃圾層內發生的氣體用管子排除。當垃圾層有二分之一左右的厚度已分解時，再進行下一次填埋。這種處理方法，即無臭氣，亦無蟲蠅之害，用土覆蓋也不會自然起火。不過在填埋之前，垃圾應進行破碎處理，以增加垃圾與空氣中氧的接觸面積，使細菌作用活化，縮短分解時間和填埋的穩定化時間。填埋地可長期使用。用清掃法，垃圾層的厚度為5公尺以下，如超過5公尺，會連續處於厭氧狀態，無機化時間較長，長期處於不穩狀態。

而今高度工商社會，生活形態複雜，包裝容器種類繁多，器材多屬化學合成材料。加上各種填充劑和添加劑以及顏色塗料多含毒質，土壤既不能分解，相對地，殘毒餘物的累積和重金屬離子的遺留，造成嚴重的土壤物理性破壞和地下水污染。所以衛生掩埋法若不事先做好分類工作，回收可用的資源，此種掩埋法事實上並不「衛生」。

所以現行的衛生掩埋法的最大缺失，是垃圾未經分類加以掩埋。較為改進的台北市福德坑和台中市南屯區示範掩埋場，依然有問題存在：兩處雖然鋪設塑膠布的底層供作滲漏水的收集，顯然收效並不理想、塑膠布日久會硬化變質在垃圾的長期壓擠下會發生裂縫、造成滲漏水現象，污染地下水源。改進方法可以在底層先鋪一層煤渣，對於土質影響和污染滲漏的防止必有助益。衛生掩埋除了垃圾上面按照比例覆蓋土壤，仍然須要做好掩埋工程的準則，包括前期處理的分類工作，掩埋地點的選擇，掩埋場之環境影響評估，掩埋作的準則，掩埋的二次污染防治，以及經濟效益與土地利用的評估等。

衛生掩埋法可適用於各種成分之垃圾，但垃圾須經分類回收，選擇在土壤中能夠分解者。同時可消除低窪地區使在雨季時不會積水，使填土後的地區做運動場地、公園等。

12.4.3 焚化法

除掩埋外，焚化為第二種最常用的廢物處理法。建造焚化爐將可燃性垃圾焚化成灰燼後，減少垃圾的體積及數量，同時都是無機物，不會腐化較容易進一步處置。

利用焚化法處理垃圾的優點有：

1. 所需土地面積小。
2. 設備可接近收集地區，減少拖運距離。
3. 不受天候影響。
4. 可利用餘熱產生蒸汽動力，回收部份費用。

其缺點有：

1. 利用焚燒法處理垃圾有一定的要求，若垃圾之成分（限可燃部分）及水分不能達到一定要求，則需加添助燃物，增加操作成本。
2. 處理後仍有剩餘質需要處分。
3. 若採用混燒法（即焚燒未經分類的生垃圾）則部分垃圾無法處理。
4. 引起空氣污染，造成二次公害。
5. 初期設備費高昂，維持費用也高。

12.4.4 堆肥法

以往鄉村常把垃圾露天堆置，同時澆以水肥或動物的排泄物，使垃圾轉化為農作物的肥分亦稱為堆肥。農業的堆肥由這種方法改良而來，利用好氧性微生物在控制的條件下，快速地將潮濕的固體有機物部份分解，而成合乎衛生條件要求的壤土性物質。目前臺灣山地和農家的垃圾仍採用此種方式自製堆肥。森林學者嘗試以樹皮磨碎改良堆肥。堆肥法不能處理各種垃圾，有部份垃圾像塑膠、陶器、玻璃等皆無法處理，同時垃圾中的碳與氮成分比須50比1以下方可採用堆肥法。

12.5 一般廢棄物的回收

一般廢棄物中有很多用過的、用壞的舊品甚或丟棄的物質，如能予以適當的處理或回收再製，仍可重行利用。因此，將垃圾中的這些物質加以適當地分類收集，再經處理，將可成為工業的原料、動力的燃料、新生地的填土。故有人說：「垃圾即資源」，甚至說：「垃圾即財富」，這說法非常具有魅力，大家都希望一化腐朽為神奇！

此外，從垃圾中回收可用物質可以達到垃圾「減量化」的目的，因此在回收資源的同時，以可節省能源、減輕污染量，是為一舉二得好辦法，尤其在能源危機與資源短缺之際，資源之回收與再利用，更成為垃圾處理的重要發展工作。

從廢棄物中回收資源，若單從經濟觀點來看，有二種情況誘因使我們從事回收工作。其一設法使回收成本較重新購買或開採成本為低，如金、銅、鉛等之單價高，甚具回收價值（廢五金、廢電纜工廠即屬於此類）。其二重估回收成本，應考慮到減低公害污染所造成的社會成本；目前昂貴的回收成本雖比製造的成本為高，仍然值得去做。例如塑膠、紙等單價雖低，但處理成本高，經過政府大力輔導和獎勵之回收再製，不但可以資源再利用，且可省能量損耗。中國人有珍惜資源、不暴殄天物的美德，其用意與今天的節約資源政策是相符的，據估計，設若資源不再有新的發展，而依目前的人口增長和物質消耗速度來計算，則全世界的許多天然資源蘊藏量只能再維持百年！一個世紀是個非常短的時間，怎不令人珍惜？況且臺灣的天然資源不太豐富，我們更應注意資源回收與再利用。據估計目前臺灣地區的垃圾量每天高達25,000餘公噸，若善為回收與利用，不但可回收資源且可減少處理垃圾的經費，因此資源的回收與再利用確屬垃圾處理的重要課題。

話雖如此，但仍要強調一點，即垃圾資源的回收與再利用僅只是垃圾處理的一環而以，我們切不可為了回收資源而喧賓奪主，忽視了垃圾處理之主要目標：安全、衛生與經濟效率。我們千萬不要為了回收垃圾副產品而耽誤正事。垃圾回收資源應只是在妥善處理垃圾，徹底防治公害之後的額外課題而以。一般資源性廢棄物佔垃圾量的百分之四十，而其回收及再生利用的價值，實在不能忽視。

12.6 工業廢棄物回收

台灣地區工業廢棄物的產量約為一般廢棄物的十倍。在各種工業的生產過程中所排出的固體廢渣、碎屑和廢物等，統稱為工業廢棄物。如化學工業的硫鐵礦渣、純鹼廢渣、塑料樹脂屑、鹽泥、酸鹼污泥等；機械工業的廢鑄砂、金屬切削碎屑、研磨碎屑等；食品工業的活性炭渣、廢酸鹼渣；纖維工業的動植物纖維屑和廢水處理的污泥；木材加工業的木屑和造紙工業的紙屑；矽酸鹽工業的磚瓦碎塊以及龐大數量的廢輪胎等，均屬工業垃圾，其種類繁多，有害成分也較為複雜。

工業廢棄物若隨意堆放，不僅占用大量土地，而且遇風塵土飛揚，污染大氣，影響環境衛生，遇雨垃圾中的有害物則流入江河和滲入地下，污染水源，危害農業生產。

(1) 紙類方面回收及再生利用

回收一噸廢紙可拯救20株原木，而且回收廢紙可減少75%的製紙能源和50%的製紙用水，同時可減少造紙帶來75%~95%的空氣污染。若全球使用再生紙可以拯救數以百萬計公頃的森林。

(2) 塑膠方面回收及再生利用

靠光線偵測器辨識不同的塑膠材質；能夠自動分類包含PET、PE（聚乙烯）、PVC（聚氯乙烯）、PP（聚丙烯）及保麗龍（PS）聚苯乙烯五種材料。寶特瓶原料是聚乙烯對苯二甲酸酯（PET），無法自然腐敗分解，因此，須予以回收再生，塑膠回收後，可製成再製塑膠，再生容器或填充纖維。最近紡織業開始利用寶特瓶回收切碎的二次原料，抽絲製成纖維後，紡織成再生毛衣。

(3) 玻璃方面回收及再生利用

回收一支玻璃瓶節省之台量，可點亮一個100燭光燈泡四小時，且回收廢玻璃再製，較原料生產，可減少20%的空氣污染及50%的水污染。全球推行玻璃瓶和玻璃杯的回收，可以省掉五千萬桶的石油及80%的石英等礦砂。

(4) 金屬方面回收及再生利用

丟棄一個鋁罐等於浪費半個鋁罐容量的石油，而且用回收鋁再製，比鋁礬土製鋁減少約90%~97%的能量耗損。換言之，將鋁罐回收後，可節省75%煉鋁的電能。飲料鋁箔包回收切料後，再製成文具用品。

上述物質回收及能源回收常互相關連，在物質回收的同時亦可節省能源。例如再生紙漿、再生鋁片時所需能源較用原木或鋁罐製造時要少的很多；而能源回收時，亦可節省物質，例如回收油、瓦斯等能源來做燃料時，等於節省化學原料（石油）。紙類、橡膠、塑膠、紡膠、紡織品、玻璃、金屬等可由工業廢棄物中直接回收利用，惟回收物品之價值常取決於其品質規格的高低。一般常須考慮之規格項目為類型、數量、純淨程度。

12.7 清潔生產之意義

「清潔生產」的觀念源起於1974年美國3M公司所提出「污染預防划得來(Pollution Prevention Pays, 簡稱3P)」的概念，其意義是希望藉由執行污染預防的措施，可以獲得更大的利益。其基本觀念為未被利用的原料，經排出後即成為污染物質；反之，污染物質若能加上創新技術的使用，可將污染物質變為具回收再利用價值的資源。此後，美國在1986年及1990年分別通過「資源保育及回收法(Resource Conservation and Recovery, 簡稱RCRA)」與「污染預防法案(Pollution Prevention Act)」等法，其明確規範各產業必須針對污染源，進行事先預防與減少污染量釋出的工作（或稱為減廢措施），對於無法回收再利用的污染物，則儘量做好處理工作；至於排放或最終處置（或稱為管末處理），才是不得不採取的最後手段。又如：美國國會在1990年「污染預防法」中，倡導對污染物的管制有四個優先次序，依次為源頭減廢(Source reduction)、回收與再利用(Recovery and reuse)、中間處理(Treatment)、以及最終處置(Final Disposal)。在「污染預防」的觀念及相關法案陸續被提出後，許多產業或政府單位則逐漸推動以「污染預防」、「工業減廢」、或「清潔生產」為基本概念，以減少污染物的產生為積極作為。

聯合國環境規劃署工業與環境計畫活動中心(Industry and Environment Program Activity Center of UNEP, 簡稱IE/PAC)，為推動全球性清潔生產的活動，在1989年制定「清潔生產計畫(Cleaner Production Program)」，並在1992年所召開的「地球高峰會議」中，通過的「21世紀議程」，倡導「永續發展」的理念。其中，特別將「清潔生產」的內涵定義為：持續地於製程與產品開發及服務中，應用整合與預防性的環境策略，增加生態效益(Eco-Efficiency)，並減輕對人類健康與環境的風險(Risk)。同時，為了達到前述清潔生產的目的，特別針對製程、產品、服務等方面的執行策略，提示以下重點：

1. 製程方面—

減少原物料與能源耗用量，減少使用毒性原料，並使廢氣、廢水、廢棄物於排出前，減低其量與毒性。

2. 產品方面—

藉由產品生命週期評估，使得從原料的取得，乃至於產品的使用與最終處置過程，希望對環境之影響減至最小。

3. 服務方面—

由系統設計到整個資源使用的服務過程中，兼顧以「生命週期」的評估方式，將環境保護的考量融入其中，並儘量使用「綠色產品」或「環境友善產品」，以減低對環境的影響。

此外，UNEP更在1998年召開的「第五屆UNEP清潔生產高階諮商會議」中通過了「國際清潔生產宣言」(The International Declaration on Cleaner Production)，以促進清潔生產成為一種共識，讓清潔生產成為各國政府與產業間的共識。在政府機關方面，執行清潔生產的訓練與評估計畫，並且協助參與之產業獲得必要的補助；而在企業方面，則應參加清潔生產計畫，並定期報告檢討清潔生產計畫的執行方式及結果。因此，「國際清潔生產宣言」的內涵，主要包括以下主要內容：

- 承諾以清潔生產做為優先的污染防治策略。
- 發展適合之政策與工具，提升生態效益。
- 發展行動計畫，設定量化目標，做為持續改善之依據。
- 整合所有污染防治策略，建立適當之組織與管理系統。
- 將清潔生產納入所有教育、訓練及研究。
- 促使清潔生產成為所有利害相關者的共同活動。
- 公開分享推行清潔生產之經驗與創意。
- 每年提出實施清潔生產檢討報告。

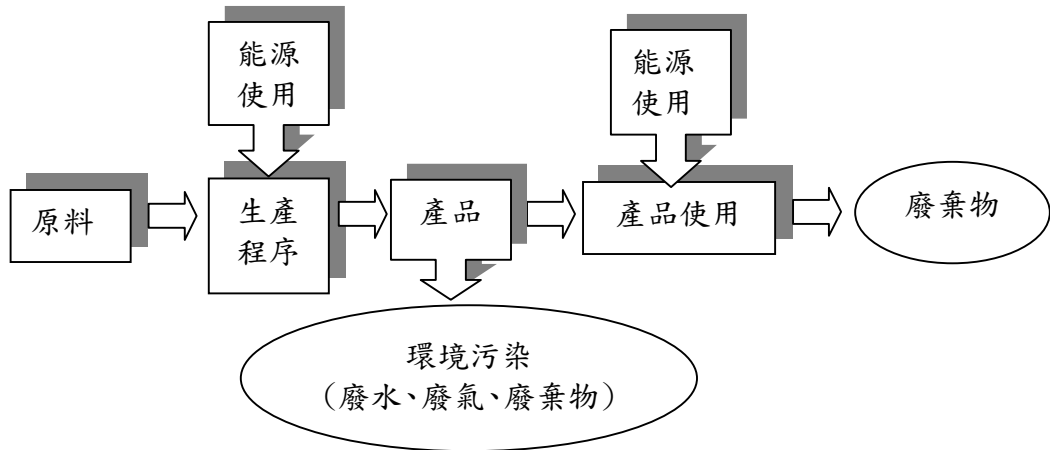
在UNEP的積極號召下，國際間紛紛響應與配合簽署「清潔生產宣言」，推動具體的作為，目前已有超過40個國家，成立140多個國家級清潔生產中心，進行國際間清潔生產技術的交流與資訊分享，許多國家也已經將清潔生產的精神與要求明確的融入環保法規的研修工作中。

12.8 清潔生產製程與傳統製程之差異

「清潔生產」的範疇係以產品的生命週期為基礎，從原料採取、使用和製造、產品的最終處置，乃至於相關服務部門，皆考量之，圖11-1比較傳統生產製程和清潔生產製程的差異。清潔生產為一項持續地整合性及預防性措施，並兼顧其程序、產品、以及服務的環境策略。清潔生產並非僅以消極的避免環境被破壞為核心，更是以積極提高生態效益為終極目標。

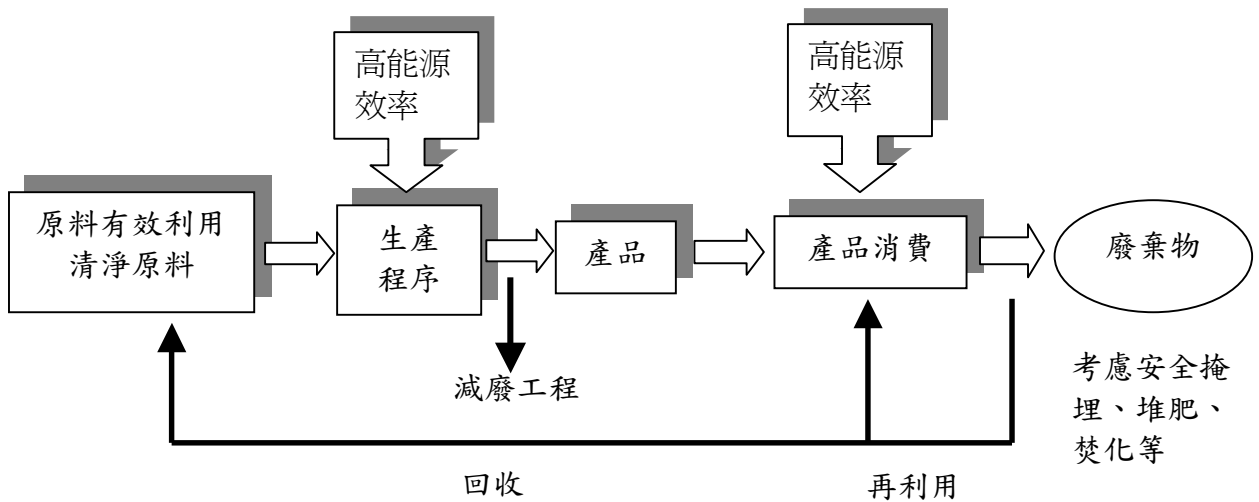
工業減廢與清潔生產雖然二者所涵蓋的內容極為相似，兩者考慮的對象除了包含組織的生產活動及產品，以及屬於自發性的污染預防工作之外，清潔生產更

包括了服務管理等方面的工作，範疇較工業減廢較為寬廣，而且工業減廢為推動清潔生產的核心技術。UNEP於國際間呼籲清潔生產之推動，且於國際間已建立許多國家級清潔生產中心及交流管道，逐漸成為國際的共識，故清潔生產於國際間的推動，較工業減廢更為普遍。圖11-2比較清潔生產與工業減廢兩者在範疇上的差異。



「傳統製程」以得到最多產品為考量重點

- 製程和產品的設計來考慮減少對環境造成之衝擊
- 污染防治被認為是製造業的負擔



「清潔製程」考慮生產製程/產品減少對環境的衝擊

- 強調有效使用原料、能源
- 降低廢棄物產量及其毒性
- 回收再利用原料、產品、廢棄物

圖12-1 清潔生產製程與傳統製程比較

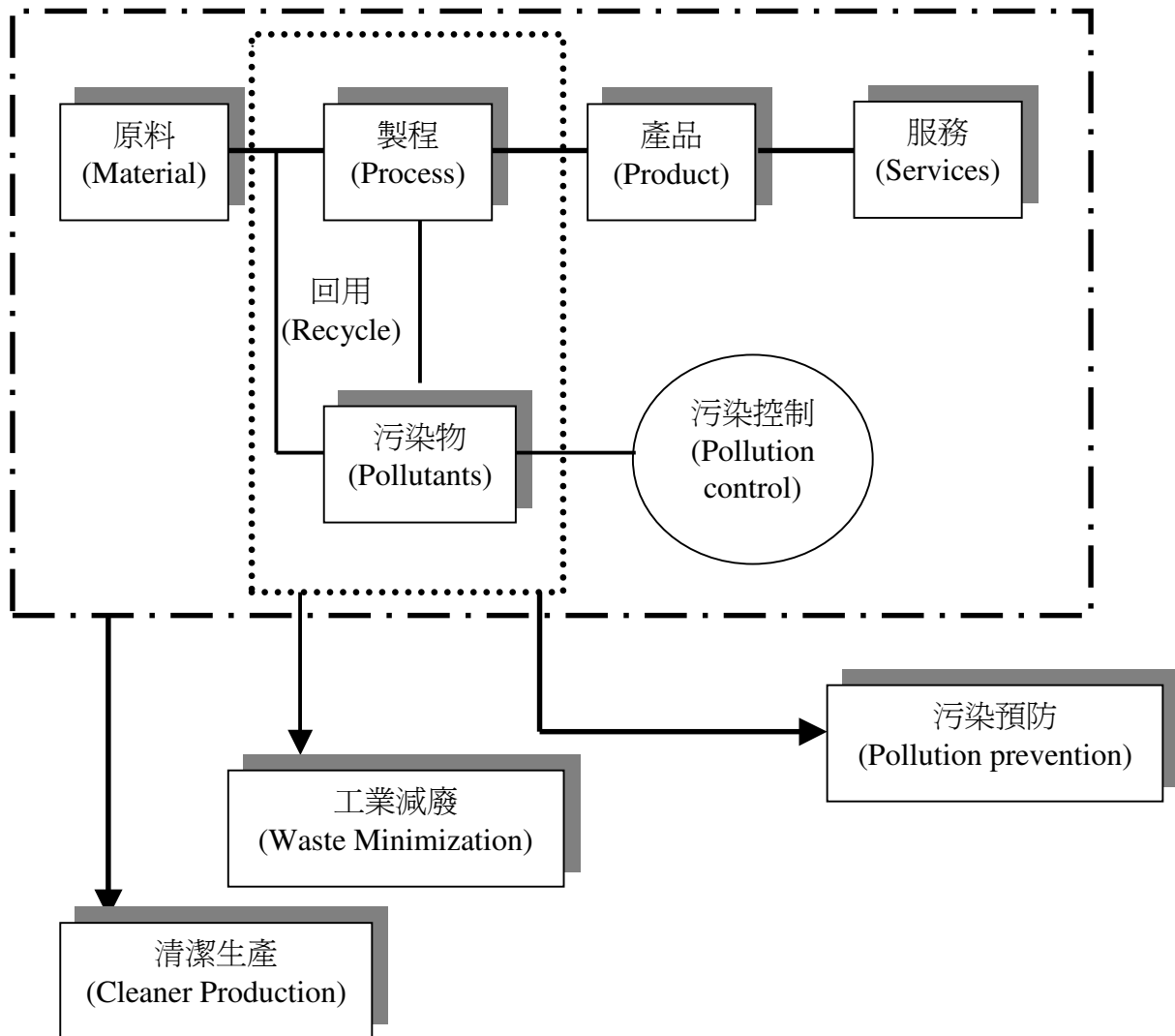


圖12-2 清潔生產與工業減廢範疇比較

12.9 清潔生產指標之建立

如前述，清潔生產為全球先進國家所重視，也是落實產業永續發展的執行策略。然而，要衡量某一製程或產品，是否合乎清潔生產的理念，必須要有一合理客觀的評定基準，做為評估製程或產品之清潔度，此評定基準特稱為「清潔生產指標」。根據清潔生產指標的本質特性上，一般可分為宏觀性指標、微觀性指標、

以及環境設計指標等類別。其中，宏觀性指標與環境績效指標或管理績效指標(MPI)較為相似；微觀性指標則與操作績效指標(OPI)較接近；環境設計指標則提供給研發人員在選擇材質、能源、製程、污染物處理技術之參考。

一般「清潔生產指標」的訂定與使用，必須針對相關製程於污染物的生成、環境資源的消耗、生態危害的風險、以及對環境或人類福祉可能造成的衝擊等方面，來加以綜合評估之。而且，就清潔生產指標之採用上，除了必須考量特定產業的特性，使其具產業代表性外，此指標必須簡單且容易使用。例如：半導體製造業會使用大量之純水、強酸、強鹼、以及許多有毒之化學品或氣體等，此時即可用其單位產品所使用之這些物質作為清潔生產指標；又如，食品加工業會使用大量之包裝，因此可以其單位產品使用之包裝材料作為其指標。

以下就世界各國或本地常用的清潔生產指標，及其意義與應用和建立流程做一簡要敘述，並將其特性彙整在表1與表2中。

12.9.1 國外清潔生產指標

1. 生態指標(Eco-indicator)

歐聯以環境衝擊觀念，來評估污染物質對生態環境或人類健康的危害程度，乃建立「生態指標」。生態指標建立的程序(如圖12-3)，依序為衝擊、效應、危害、評估、與指標建立等。生態指標根據污染物排放後，對環境生態系統或人體健康，所造成衝擊之大小來建立。不過，有時部份衝擊之大小是屬於區域性的，主要根據它們對當地對環境品質的要求、氣候狀況、天文狀況、水文狀況而定。由於生態指標非常具有區域性，目前這些指標多用於歐洲地區。

2. 氣候變遷指標

溫室氣體(greenhouse gases)的排放，會改變大氣的組成，溫室氣體會提高地表溫度造成全球溫暖化的現象，導致全球的氣象變遷。例如，荷蘭所發展出來之「氣候變遷指標」，係將每年二氧化碳(CO₂)、甲烷(CH₄)、氮氧化物(N₂O)、氟氯碳化物(CFCs)的排放量，都以「CO₂當量」表示，並予以累加，其總和表示對溫室效應或全球溫暖化的貢獻。荷蘭政府逐年調查此一指標，並訂定消滅之目標，荷蘭政府由1980年之指標值286降低至1991年之239，降幅16%，預計到2000年之時應降至195。此一指標適用於政府對全國之溫室氣體控制，它能提供明確之指引，但是對於產業個體而言，可能無法產生清潔生產的指引作用。

3. 環境績效指標

歐聯綠色圓桌組織(European Green Table)曾在所提出的環境績效指標(EPI, Environmental Performance Indicator in Industry)報告中，針對鋁冶煉業、油與汽探勘與製造業、石油精鍊、石化、造紙等行業，提出適合各行業之清潔生產指標項目。例如，表12-3以鋁冶煉業與造紙業為例，說明應建立之清潔生產指標(如)。由於各產業都有不同之特性，投入之原物料、所需之能源以及所產生之污染物特性，也不盡相同，故不同產業需要不同之清潔生產指標。

表12-1 國外常用清潔生產指標

指標名稱	內容簡述	備註
Eco-indicator 生態指標	由荷蘭 National Reuse of Waste Research Program完成，由生命週期評估之觀點出發將所排放之污染物質對環境之衝擊進行量化評估，並建立量化之Eco-indicator，共建立100個指標	The Eco-indicator 95 Final Report
Climate change Indicator 氣候變遷指標	荷蘭所發展應用污染物之排放量，所選擇之標的物包括CO ₂ ，CH ₄ ，N ₂ O，之排放量以及CFCs，halons之使用量，以上均轉換為CO ₂ 當量。逐年紀錄以評估對氣候變遷之影響	“Environmental Indicators : A Systematic Approach to Measuring and Reporting on Environmental Policy Performance in the Context of Sustainable Development” World Resources Institute, 1995
EPI (Environmental Performance Indicators) 環境績效指標	挪威及荷蘭環保部委託非營利機構EGT(European Green Table)所發展針對鋁冶煉業、油與汽探勘與製造業、石油精鍊、石化、造紙等行業，發展出能源指標、原料用量指標、空氣排放指標、土壤污染指標，廢棄物指標以及意外事故指標	“Environmental Performance Indicators in Industry” Report 3, Aug. 1993 European Green Table
ELF (Environmental Load Factor) 環境負荷指標	美國ICI公司所發展 產品：產品銷售量	八十四年度工業局委辦“工業減廢技術擴展及資訊服務中心計畫”。
WR (Waste Ratio) 廢棄物產率	產出：產品產量	八十四年度工業局委辦“工業減廢技術擴展及資訊服務中心計畫”。
PPIC (Pollution Prevention Information Clearinghouse) 減廢資訊比較	美國環保署比較使用清潔生產製程前後之廢棄物產生量、原料用量、用水量以及能源消耗量，來判斷是否屬於清潔生產(相對原來製程而言)	八十四年度工業局委辦“工業減廢技術擴展及資訊服務中心計畫”。

表12-2 國內之清潔生產指標摘要表

指標名稱	內容簡述	備註
單位原料污染負荷 (原廢水)	廢水量/原料 m ³ /T BOD/原料 kg/T COD/原料 kg/T SS/原料 kg/T	82年度工業局委辦” 產業污染及能源消耗量之調查與評估” 執行成果報告
單位產量污染負荷 (原廢水)	廢水量/產量m ³ /ft ² BOD/原料 kg/ft ² COD/產量 kg/ft ² SS/產量 kg/ft ²	82年度工業局委辦” 產業污染及能源消耗量之調查與評估” 執行成果報告
單位產值污染負荷	廢水量/產值m ³ /千元 BOD/產值 kg/千元 COD/產值 kg/千元 SS/產值 kg/千元	82年度工業局委辦” 產業污染及能源消耗量之調查與評估” 執行成果報告
耗能指標	千千卡/噸產品 千千卡/千元產品	82年度工業局委辦” 產業污染及能源消耗量之調查與評估” 執行成果報告
廢棄物產生量指標 (WGI)	$WGI = \frac{\text{廢棄物(噸)}}{\text{產品(噸)}}$	85年度工業局委辦” 工業減廢技術擴散及資訊服務中心計畫” 執行成果報告
耗能指標(ECI)	$ECI = \frac{\text{能源耗用量}}{\text{產量}}$	85年度工業局委辦” 工業減廢技術擴散及資訊服務中心計畫” 執行成果報告
危害性指標(HZI)	HZI=單位用量×危害性因子	85年度工業局委辦” 工業減廢技術擴散及資訊服務中心計畫” 執行成果報告

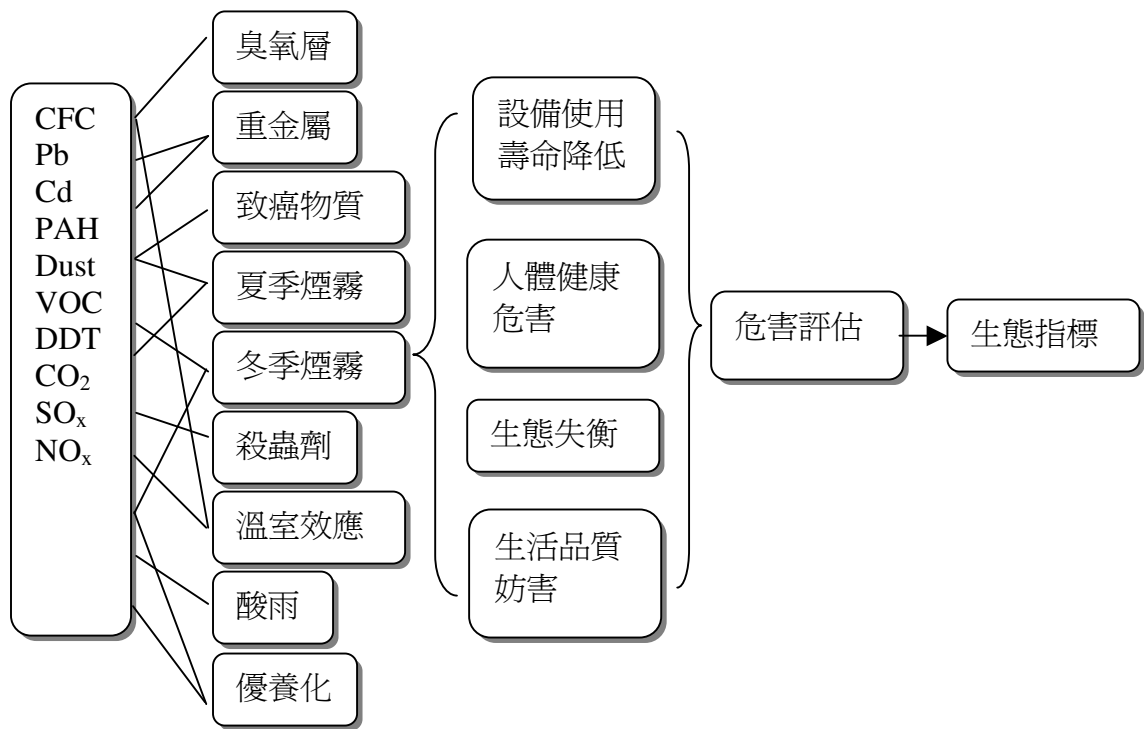


圖12-3 態指標建立程序示意圖

表12-3 色圓桌組織環境績效評估之鋁冶煉業與造紙業指標

行業別	鋁冶煉業	造紙業
原料耗用指標	<ul style="list-style-type: none"> ●鋁原料(噸)/鋁塊(噸) ●鋁塊回收率/鋁總產量(噸) 	<ul style="list-style-type: none"> ●原料中可再生林木 ●不可再生林木 ●廢紙之比例
能源指標	<ul style="list-style-type: none"> ●用電量(仟瓦小時/單位鋁產量) ●CO₂排放量(公斤/生產每噸鋁塊) ●SO₂排放量(公斤/生產每噸鋁塊) 	<ul style="list-style-type: none"> ●用電量(仟瓦小時/單位紙產量) ●CO₂排放量(公斤/單位重紙產量)
空氣污染指標	<ul style="list-style-type: none"> ●懸浮微粒(g)/鋁塊產量(公斤) ●CO₂(g)/電解製程之鋁產量(公斤) 	<ul style="list-style-type: none"> ●NO₂排放量(公斤/單位重紙產量) ●SO₂排放量(公斤/單位重紙產量) ●懸浮微粒(公斤/單位重紙產量)
放流水污染指標	<ul style="list-style-type: none"> ●COD(公斤)/鋁塊產量(公斤) ●BOD(公斤)/鋁塊產量(公斤) ●溶解氧(公斤)/鋁塊產量(公斤) 	<ul style="list-style-type: none"> ●COD(公斤/單位重紙產量) ●BOD(公斤/單位重紙產量) ●總懸浮固體物(公斤/單位重紙產量)
土壤污染指標	<ul style="list-style-type: none"> ●經調查之面積百分比 ●受污染面積之百分比 ●以復育面積之百分比 	無
廢棄物指標	<ul style="list-style-type: none"> ●廢pot lime/年/鋁塊產量(噸) 	<ul style="list-style-type: none"> ●總固體廢棄物(公斤/單位重紙產量) ●總有害事業廢棄物(公斤/單位重紙產量) ●廢棄物處理處置方式之百分比
意外事故指標	<ul style="list-style-type: none"> ●每年事故次數 ●每年罰款金額 	<ul style="list-style-type: none"> ●每年事故次數 ●每年罰款金額 ●每年接獲之抱怨次數

4. 環境負荷指標

英國得利公司(ICI)所屬的FCMO(Fine Chemicals Manufacturing Organization),發展出一種稱為「環境負荷指標(Environmental Load Factor)」,供化學製程開發人員作為評估新製程時的參考,此環境負荷指標定義如下:

$$\text{環境負荷指標} = \frac{\text{廢棄物(噸)}}{\text{產品(噸)}}$$

在上式中的廢棄物並不包含經過製程之水及空氣,不參與反應之氮氣(N₂)亦不算在內。此公式適合於具化學反應之製程,不過,“廢棄物”不分有害、無害,足以總量當指標值,不易真正表示其對環境之影響程度。

5. 廢棄物產率

美國3M公司在1975年開始執行3P (Pollution Prevention Pays, 污染預防划得來) 計畫以來，成效不錯，其執行的第一年就減少50萬噸各類(氣、水、固)污染物。3M亦曾用一簡單的指標，作為評估清淨製程的參考。其定義如下式：

$$\text{廢棄物產率} = \frac{\text{廢棄物(噸)}}{\text{產出(噸)}}$$

式中產出代表產品、副產品、廢棄物等的總合。3M公司的廢棄物產率與ICI公司的環境負荷指標兩者極類似，廢棄物的定義相同，只是比較之基準不同而已。環境負荷指標以產品基準，廢棄物產率以總產出為基準，其值永遠小於1，而ELF值則可能大於1。

6. 減廢資訊比較

美國環保署之減廢資訊比較中心(PPIC, Pollution Prevention Information Clearinghouse)所採用的方式為經常評估/調查廢棄物產生量、原料、水及能源之耗用量。在每次評估/調查之間一定進行某項改善，然後比較改善前後之情況，以評估進步之程度，表12-4 為PPIC所用以比較的表格，此指標常應用於同一工廠在製程改善前後之比較。

表12-4 資訊比較改善表

項 目	改 善 前	改 善 後
廢棄物產出量		
原料用量		
用水量		
能源消耗量		

12.9.2 國內清潔生產指標

1. 污染指標

在表12-1中之第1~3項指標都是屬於污染指標，是以相同之污染物分別以單位產料、單位產品以及單位產值表示。

$$\text{污染指標} = \frac{\text{污染量, 重量}}{\text{原料用量}}$$

$$\text{污染指標} = \frac{\text{污染量, 重量}}{\text{產品產量}}$$

$$\text{污染指標} = \frac{\text{污染量, 重量}}{\text{產值}}$$

式中，污染量包括污泥量(公噸)、COD(公斤)、BOD(公斤)、廢水量(M³)，產品產量之單位因行業別而異，例如及皮革業以長度或面積為單位，而化工業之產品大多以重量為單位。這種表示方法在國內歷年來已經累積有相當多之調查結果，針對同一行業也有許多數據。

類似之污染指標或是清潔生產指標，歷年來政府單位斷斷續續做過調查研究，對於產業界提供了極大之助益。但是，清潔生產指標是著眼於持續改善，也就是說必須隨著時間以及技術之進展，不斷提供更新之清潔生產指標，才能激勵業者持續改善。這種清潔生產指標完全可以繼續應用於國內作為清潔生產指標之用，但是用於不同行業之間的比較時必須注意行業別之間的污染特性差異。

2. 耗能指標

耗能指標之定義為製程中所使用之耗能設備以及所耗用之能源，經過轉換為相同之單位，例如一千千卡之後相加，再除以產品產量或是產值。其計算式為

$$\text{耗能指標} = \frac{\text{能源消耗量(千千卡)}}{\text{產品產量(噸)或產值(仟元)}}$$

為計算耗能指標時應該由現場取得之數據，其取得方式可以經由問卷也可以由現場工作人員之訪談得來。此一指標應用時，對於各種能源換為同一能源當量時，一定要特別注意一致性，尤其是引用其他單位計算或調查之結果時更要小心轉換基準是否一致，進行比對才有意義。

3. 廢棄物產生量指標

廢棄物產生量指標(Waste Generation Index, WGI)指標值愈高表示愈不清潔，也就是單位產品產生之廢棄物量較高。

$$WGI = \text{廢棄物產生量} / \text{產品產量}$$

其中，廢棄物係指凡產品製造過程中所生成之廢棄物皆屬之，危括廢氣、廢水、廢棄物、廢棄之原物料、包裝材料等，單位為公斤或公克。廢棄物產生量指標之優點是計算容易，工廠可以經由簡單之計算後得到目前之清潔程度，經過一段時間之改善或是施行清潔生產技術之後，可以再計算一次並進行改善前後之比較。但是利用廢棄物產生量指標時必須注意製成中是否會產生量小但毒性高之廢棄物，因為量小但毒性高之廢棄物之廢棄物/產品值可能會很小，很容易就會被忽略。

4. 危害性指標

$$\text{危害性指標} = \text{單位用量} \times \text{危害性因子},$$

式中，單位用量—每單位產品使用之危害性物質，以重量為單位危害性因子—化學物質之危害性可分為毒性及燃燒爆炸性兩類，因此物質之危害性因子可參考其毒性及爆炸危險性而訂。此處以VHI(Vapor Hazard Index)計算之：

$$VHI = \frac{VP_{25^{\circ}C} (mmHg)}{TLV}$$

其中， $VP_{25^{\circ}C}$ 為該物質在 $25^{\circ}C$ 時之蒸汽(vapor pressure)，以mmHg為單位。TLV(Threshold Limit Value)為毒性指標。單位為ppm。

<應用案例>

某抗氧化劑NAUGARSQ製程中使用之危害性原料，其用量，危險性如表12-5。

$$\text{危害性指標} = \text{單位用量} \times \text{危害性因子}$$

$$= 0.55 * 0.537 + 0.085 * 0.65 + 0.293 * 0.760 + 6.5 * 0.194$$

$$= 0.295 + 0.055 + 0.223 + 1.261$$

$$= 1.844$$

由以上之計算例可以看出危害性指標有使用方便之優點，其結果也很明確易懂。但是也有不同之意見表示工廠使用毒性或危險性化學物質，如果控制良好以致於毒性化學物質原料收率高之時，毒性化學物質均已轉化成性質安定之無毒性產品，這時HZI之值會失真，對於清潔生產者（高收率）反而造成負面之結果。

表12-5 氧化劑NAUGARSQ製程中使用之危害性原料使用量

種類		原料量 (公斤)/產量(公斤)	單位用量 (公斤/公斤產品)	TLV(ppm)	Vp(25°C)	危害性 因子
原 料	苯胺	4600	0.537	2	1.1	0.55
	二甲苯	5568	0.650	100	8.5	0.085
	丙酮	6510	0.760	750	220	0.293
	鹽酸	1657	0.194	5	32.5	6.5
產品		8560				

12.10 清潔生產指標的應用

清潔生產指標可作為減廢空間之分析、環境產品設計之基準、環境績效之呈現、以及清潔程度之比較等，茲分述如下：

1. 分析減廢空間

清潔生產指標可以作為發掘減廢空間之用，例如可作為相同產品之不同生產線之間之比較，表12-6 即為不同氯乙烯單體之製造工廠之污染排放量數據。其中A廠之廢水排放量明顯的高於其他三廠，此表示A廠在用水方面有極大之減廢空間。此外，清潔生產指標也可作為同一製程前後期清潔程度之評比。

2. 產品設計和製程開發之基準

由生命週期評估模式，將製程或污染物對環境衝擊之量化生態指標數據作為產品設計或製程開發之基準。其優點是對清潔生產之代表性高，但缺點為生態指標非常具有區域性，因此對其他地區並不適用。應用定性指標，例如在製造銷售階段考慮產品的材質之耗竭情形或開採對生態所造成之破壞，避免使毒性化學物質等就可以在研發或設計階段即導入清潔生產之概念，使得所研發之新產品較市售之同功能產品為清潔；或新製程為低耗能，低毒性或產生較少污染者。

3. 展現環境績效

清潔生產指標也可作為環境績效之展現，以石化業為例可依其產業特性而使用不同之清潔生產指標來展現其環境之績效如表12-7所示。

4. 清潔程度之評比

根據不同產業之特性所使用之清潔生產指標也可最為清潔程度之評比，以食品業為例可用耗能指標，污染防治支出率，或有無ISO之認證來比較其清潔程度如表12-8所示。

表12-6 不同氯乙烯單體製造工廠之污染排放量數據

工廠名稱	污染排放量(噸/噸產品)				
	空氣污染物	廢水	液/渣	固體廢棄物	合計
A	0.124	2.154	0.0330	0.0039	2.3149
B	0.013	0.421	0.01412	-	0.4482
C	0.532	0.185	0.0250	0.0002	0.7422
D	0.044	0.099	0.0200	0.0002	0.5832
合計	0.255	0.946	0.0249	0.0015	1.2279

表12-7 以清潔生產指標展現產業之環境績效

產業特性	建議使用清潔生產指標	說明
乾燥製程產生高分貝噪音	噪音抗議率, 每年針對噪音遭受看易次數或接獲罰單次數	比值越低越清潔。須以同一製程做比較。
VOCs	VOCs釋放濃度大於5000 ppm之百分比	比值越低越清潔。
粒狀污染物	粒狀物產生率： $\frac{\text{粒狀物產生量(噸/年)}}{\text{年總產量(噸)}}$ ，或 $\frac{\text{集塵器處理容量(噸/年)}}{\text{年總產量(噸)}}$	此指標係假設業者使用之集塵設備均是以產生之粒狀物乘以相同或近似之安全係數。指標越低表示單位產品產生之粒狀污染物越少，製程越清潔。以相同製程進行比較
有害事業廢棄物		為共通性指標，可作不同製程甚至不同行業之間的比較。

表12-8 食品業之清潔生產指標

指 標	計算方式	說明
耗能指標	$\frac{\text{全年總耗能(千卡)}}{\text{年總產值(萬元)}}$	必須注意各類能源之間的專換基準必須一致。屬共通性指標，可做不同行業(製程)之間的比較。
污染防治支出率	$\frac{\text{污染防治年度支出(萬元)}}{\text{生產年度成本(萬元)}}$	污染防治年度支出是指投入污染物之管末處理支出，包括人事、設備、材料、環保罰單，污染事件賠償金等項目。生產成本則指所有支出之總和。指標越低表示越清潔。屬共通性指標，可做不同行業(or製程)之間的比較。
國際認證系統	有無 ISO9000 系列 或 ISO14001之認證	有ISO系統認證者，製程操作較為穩定而不易有人為疏忽之意外排放。屬共通性指標，可做不同行業(or製程)之間的比較。

12.11 清潔生產指標評估程序

針對清淨製程之評估程序，可參考類似於「環境績效評估」的程序為之。ISO14031環境績效評估 (Environmental Performance Evaluation, EPE)是一種持續的內部管理程序和工具，常應用於各種指標績效之評估。標準EPE程序詳細步驟，主要循“規劃—實施—檢查—行動”所謂的P-D-C-A管理模式，簡述如下：

1. 規劃：

規劃 EPE，選擇 EPE 指標(選擇標準之程序可以包括從現有的指標中篩選或發展新的指標)

2. 實施：

使用數據和資訊，包括：收集和選擇指標相關之數據、分析和轉換數據將其變成描述組織環境績效評估之資訊、評估組織之環境績效，將其和組織之環境績效準則做比較，報告和溝通組織之環境績效。

3. 檢查和行動：審查與改進 EPE 之程序。

環境績效評估之主要作用在於設定環境績效指標，並且以環境績效準則作為改善之標的，在P-D-C-A的邏輯之中達到工廠持續改善之效。也就是說，在ISO/DID 14031版本中環境績效標準之比較對象仍然是以自己為主。在ISO 13431/DIS版中之環境績效指標可以分為兩類，分別是：

環境績效指標(Environmental Performance Indicators, EPIs)；和環境狀況指標(Environmental Condition Indicators, ECIs)環境績效指標又可分為兩種，即管理績效指標(Management Performance Indicators, MPIs)是環境績效指標的一種，可反映管理階層對於改善組織在作業環境績效所做的努力。操作績效指標(Operational Performance Indicators, OPIs)是環境績效指標的一重，反映組織在作業上的環境績效。

清潔生產指標之產生與應用之程序較環境績效指標為廣，在工廠內部可以完全依照ISO/DIS14031之程序來實施清潔生產評估，在工廠之外則可以利用清潔生產指標來與其他同類型之工廠進行清潔程度之評比。表示清潔生產指標之三階段應用方式，第一階段就是要設定“環境績效準則”以作為本廠努力之目標；第二段則是要與他人比較，作為改善之標的；第三階段則是與極限值比較，也就是朝向反應之理論值努力。

無論清潔生產指標或是環境績效指標，無論是自己與自己比或是與別人比，其目的都是在於改善現在之環境衝擊。因此在比較並發現該善空間之後，就必須靠著適當之技術引進來解決問題或是提高效率，已到改善之目的。也就是說，應用清潔生產指標或環境績效評估指標之重要意義，在於藉由指標找出邁向cleanER之技術需求。因此，除了ISO/DID 14031環境績效評估程序之外，應用環境績效指標（或清潔生產指標）之P-D-C-A流程應當如下圖所示。

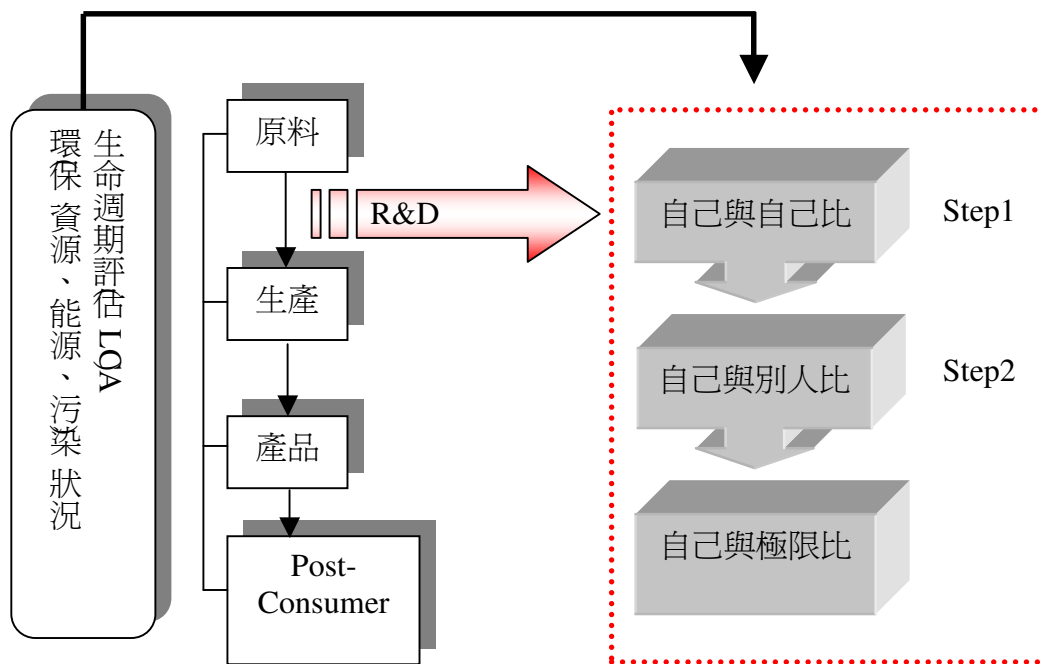


圖12-4 清潔生產指標之應用邏輯

12.12 結語

為了環境永續發展的國際趨勢，國際間已陸續提出以「清潔生產」為中心理念之行動綱領，以落實產業環保工作。本文特別針對「清潔生產與製程」等相關內容，例如：清潔生產的意義、清潔生產製程與傳統製程之差異性、清潔生產指標之建立、清潔生產指標的應用、以及清潔生產指標評估程序，加以撰文闡述說明，希望讀者對於永續發展及其參考之清淨製程，有更深入的瞭解。清潔生產的內涵在於持續地針對製程與產品開發及服務中，應用整合與預防性的環境策略，增加生態效益，並減輕對人類健康與環境的風險。為了達到前述清潔生產的目的，特別針對製程、產品、服務等方面的執行不同的策略目標，希望能建立永續生存與發展的生活環境。

問題討論

1. 處理廢水的三個階段為何？
2. 常見的空氣污染防治設備有哪些？
3. 何謂『衛生掩埋法』？

參考文獻

1. “清潔生產概論－邁向產業永續發展之陸”，經濟部工業局。
2. “Energy: Its Use and the Environment”, by Roger A. Hinrichs & Merlin Kleinbach, “能源運用與環境”黃文良譯，滄海書局。
3. “Pollution Prevention: Fundamentals and Practice”, by Paul L. Bishop, “污染預防：基本原理與實務”，林政剛譯，滄海書局。
4. “綠色化學與化工”，閔恩澤、吳巍，五南圖書。
5. “永續發展導論”，李公哲等編著，中華民國環境工程學會。
6. “永續產業發展雙月刊”，經濟部。
7. “台灣永續發展的危機與轉機－永續台灣的願景與策略白皮書”，國科會永續發展研究推動委員會。