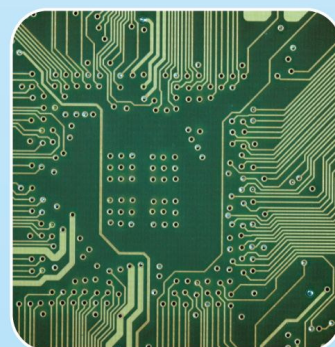


財團
法人

中技社

永續資源管理技術手冊

CTCI FOUNDATION



財團法人中技社(CTCI Foundation) 於 1959 年 10 月 12 日創設，以「引進科技新知，培育科技人才，協助國內外經濟建設及增進我國生產事業之生產能力為宗旨」。初期著力於石化廠之設計與監建，1979 年轉投資成立中鼎工程，承續工程業務；本社則回歸公益法人機制，朝向裨益產業發展之觸媒研究、污染防治與清潔生產、節能、及環保技術服務與專業諮詢。2006 年本社因應社會環境變遷的需求，在環境與能源業務方面轉型為智庫的型態，藉由專題研究、研討會、論壇、座談會等，以及發行相關推廣刊物與科技新知叢書，朝知識創新服務的里程碑邁進，建構資訊交流與政策研議的平台；協助公共政策之規劃研擬，間接促成產業之升級，達成環保節能與經濟繁榮兼籌並顧之目標。

本著創社初衷，為求對我們所處的環境能有更深的貢獻以及協助產業發展，對國內前瞻性與急迫性的能源、環境及經濟議題邀集國內外專家進行研究探討，為廣為周知，提供讀者參考，特發行此專題報告。

本專題報告係由本社與台大環工所馬鴻文教授團隊完成三年合作研究計畫後共同提出之第二本報告，延續本社 2012 年 12 月發行之「永續資源管理政策白皮書」之內容，提供推動資源管理之技術工具及方法。馬鴻文教授為北卡羅萊納大學環境科學與工程學系博士，現擔任環工所所長一職；鄒倫博士現任職於財團法人中技社環境技術發展中心主任。

發行人：潘文炎

總編輯：馬鴻文、鄒倫

執行編輯：李佳禾、陳必晟、邵功賢、王怡心、廖孟儀、陳思蓉、
陳潔儀、潘惠萍

發行者：財團法人中技社

地址 / 106 台北市敦化南路二段 97 號 8 樓

電話 / 886-2-2704-9805

傳真 / 886-2-2705-5044

網址 / www.ctci.org.tw

本社專題報告內容已同步發行於網站中，歡迎下載參考

ISBN：978-986-88170-9-8

目錄

前言	1
第一章 物質流管理	3
一、環境管理工具—物質流分析	3
二、物質流分析目的	4
三、常用物質流名詞定義	6
四、物質流系統盤查與計算	8
五、應用軟體介紹	11
第二章 國家層級物質流分析技術	15
一、各國之物質流分析工具使用現況	15
二、國內物質流研究案例現況	22
三、建立國家層級物質流資料庫方法	28
四、國家層級物質流指標	32
五、資料庫來源	45
六、政策應用	46
第三章 企業層級物質流技術	49
一、企業物質流管理趨勢	49
二、企業及產業層級物質流執行及管理	50
三、企業及產業物質流核算方法與指標	55
四、企業及產業物質管理方案	65
五、企業及產業物質管理優勢及效益	81
第四章 總結	85
參考文獻	87

前言

為求邁向永續發展，永續資源管理已成為國際的重要趨勢。許多國家與國際組織已啟動各式資源管理的措施或行動方案，因為永續資源管理所要處理的正是全球正在面對的課題，包括有限的資源將限制現在的經濟發展模式，資源的使用亦造成許多環境問題。故我們亟需思考，如何從國家、產業及企業各層面進行永續資源管理？如何以最少的資源消費，產生最大的效益？我們可以看到，高度發展國家為首的 OECD 正在倡導各國提高「資源生產力」；聯合國 UNEP 已規劃了 10 年架構，以推動「永續消費與生產」；歐盟為 2020 年設定其「資源效率」的提升目標；日本以健全的法規制度落實「循環型社會」與「低碳社會」；美國則檢討資源保育與回收法(RCRA)，將「永續物質管理」的概念整合到現有的廢棄物及資源管理制度。有鑑於此需要，財團法人中技社已與台灣大學環工所合作，2012 年底共同發表「永續資源管理政策白皮書」(專題報告 2012-06)，探討我國產業發展與國家整體政策制度，提供推動永續資源管理之方向。

永續資源管理仰賴對使用資源的體系有完整的了解，相關的體系包括國家、產業或企業等不同的層級。物質流分析為其主要的工具，用以解析不同資源使用體系，讓我們了解各體系使用了多少資源？其中有多少資源屬有效的利用？有多少不當的資源使用造成環境的負荷？並指出體系中那些生產消費的環節需要做調整，以提昇體系的經濟利益與環境績效。故物質流分析將有助於政府釐清我國的資源生產力，並找出提高資源生產力的關鍵物質與產業。另外，物質流分析亦可運用於產業或企業管理，減少原物料與廢棄物之成本，提高企業獲利與環境績效。財團法人中技社與台大延續已出版之政策白皮書，編彙此「永續資源管理技

術手冊」，本手冊的主要目的為介紹物質流分析，讓政府與產業能運用物質流分析，以有效管理經濟、資源、環境等重要議題。

本手冊首先介紹物質流分析的目的與應用，並說明其分析的方法學、列舉相關軟體與資料庫。並分別從國家的角度以及企業的角度，提供物質流分析的做法，包含物質流盤查、計算、指標、分析與應用，並有相關案例作輔理解學習。本手冊已參考許多國內外的經驗和做法，然而限於篇幅，仍有許多優質案例未能納入，物質流分析的方法及應用亦與時俱進，仍祈各位先進提供指教，亦歡迎產業界能提供所發現物質流管理的實務需求，以利後續充實本手冊之內容，更有助於我國推動永續資源管理。

第一章 物質流管理

一、環境管理工具—物質流分析

物質流分析(Material Flow Analysis, 簡稱為 MFA)可以用於資源管理、廢棄物管理及環境管理，支援其決策分析，因為物質流分析是以系統性的方式，評估一個特定的區域及時間範圍內，物質的流量(flow)及存量(stock)。它的系統包含物質的來源(sources)、去向(pathways)、中間轉換(intermediate)及最終流向(final sink)。依據物質不滅定律，物質流分析的結果可以運用質量平衡來完整掌握各程序(process)中的輸入、輸出、存量，此為物質流分析的特性。一般來說，物質流分析可以描述人類圈與環境圈的物質交流關係，人為系統(anthropogenic systems)，又稱經濟系統，可大幅干擾物質在自然生態系統體的平衡，同時也造成的資源或環境的問題，圖 1 描述人類圈與環境圈間之關係，物質、能源、空間、資訊及社會經濟的議題必須包含於人類圈中，而物質(M)、能源(E)、生物(LO)及資訊(I)在人類圈與環境圈相互交流。物質流分析雖然未必包含上述全部面向，然而大部份的案例中，有考慮到物質流動與這些面向的關聯性，並在物質流分析中探討，因此，物質流分析時常結合能源、經濟、都市計畫之分析。

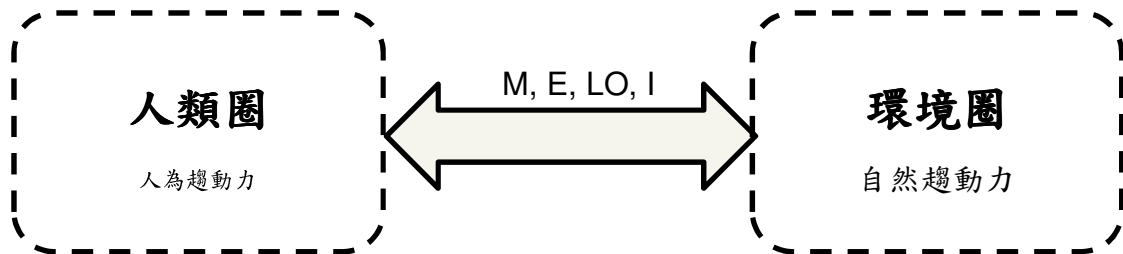


圖 1：人類圈與環境圈交換之關係 (Brunner and Rechberger, 2004)

物質流分析傳遞一個完整且一致的資訊，即一個系統中由許多程序、流量與存量所組成。物質流分析檢核輸入與輸出是否平衡，故能更清晰掌握廢棄物產量及所造成的環境負荷，對應的物質的來源也能從系統中指出。許多物質流動在短時間內看似無明顯變化或立即危害，然而，透過物質流分析，可看出未來潛在的巨大損害，故能及早發覺資源存量的消耗或廢棄物的累積趨勢，以提供對策。

物質流帳(Material flows accounts, MFAs)可採用生命週期的系統觀點，以提供完整的環境資源管理資訊，追蹤物質從其開採、製造、使用、廢棄，至回收等階段之使用情形，

如圖 2 所示，故世界資源研究所 World Resource Institute 認為物質流分析在制定環境政策中，是相當重要的工具。

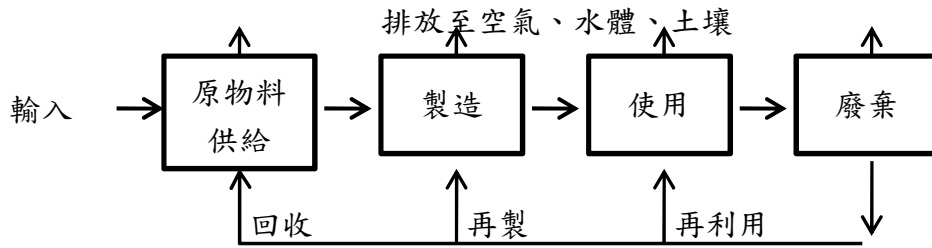


圖 2：物質流生命週期 (WRI, 2005)

物質流帳提供一套方式，可整合環境與經濟政策之問題，並提供決策良好的基礎物質資訊，亦可幫助政策制定、改善企業環境管理等議題，並提出可行之解決方案。在檢視物質循環的同時，亦能導向下列關鍵問題：

1. 所制訂的政策是否會與經濟成長及物質使用衝突？
2. 政策是否有助於企業做環境有善的產品與製程設計，防止有害物質進入環境？
3. 生物可分解產品是否持續增加？
4. 自然資源轉換為消費產品的製造效率是否提昇？
5. 何種自然資源進入經濟圈，其如何改變？

在物質流分析的概念下，已發展出許多種方法及工具可供不同管理標的使用，如 SFA(substance flow analysis)、PFA(product flow accounts)、物質平衡(material balancing)、生命週期盤查(life cycle inventories)及(bulk material flow accounts)等。計算單位以物理量(physical units)呈現，通常以重量單位表示，如公斤、公噸等。分析範圍涵蓋開採(extraction)、生產(production)、轉換(transformation)、消費(consumption)、再循環(recycling)及廢棄(disposal)等階段。物質流分析也可以進行不同空間尺度的分析，包括跨國、國家、區域、社區(community)或企業等。

二、物質流分析目的

物質流分析(Material Flow Analysis, 簡稱為 MFA)屬於系統性的評估方法，主要用於評估特定空間與時間的系統中物質的流量與存量，其中包括了物質與貨物的平衡，是一個用於描述與量化人類系統和自然系統代謝機制的方法，其主要的分析原理是建構於在

質量平衡的概念之下。有部分的研究並未將物質與貨物明確的區分開來，因此元素流分析(Substance Flow Analysis，簡稱為SFA)有時候也可以用來代表物質流分析，不過一般而言，SFA指的是單一元素或分子的物質流分析。透過物質流分析可檢視系統內部的物質流動分布，若是將物質流分析結合能源流分析(Energy flow)、經濟分析(Economic analysis)以及消費導向之分析，則可應用於人類經濟活動管理。物質流同時可應用於去物質化與去毒化之製程管理，所謂的去物質化係指增加物質的再生循環使用效率，而所謂的去毒化係指減少物質使用所造成的有害物質排放。物質流分析可以有效的找出環境問題管理的優先順序，並且達到去物質化與去毒化的目的，進而建構永續物質管理，使得物質在使用的過程中，不僅可以提昇物質的使用效率，同時可以降低物質使用對於環境的衝擊。其目的如下：

1. 用完整明確的定義將系統內物質流量與存量加以描述。
2. 以合適的決策考量為基礎，盡可能的將系統簡化。
3. 運用物質平衡概念並考量不確定性，進而量化目標物質的流量與存量。
4. 用明確、可理解並具有再現性的方式呈現系統內物質的流量與存量。

物質流分析方法是在特定的區域及時間下，以系統性的方式評估物質的流量(flow)及存量(stock)，它包含物質的來源(sources)、去向(pathways)、中間轉換(intermediate)、及最終流向(final sink)。依據物質不滅定律，物質流分析的結果可以由簡單的質量平衡來比較目標物質在各程序中的輸入量、輸出量與存量。此為物質流分析的特性，而此方法特性使其成為資源管理、廢棄物管理及環境管理中之決策依據。

物質流的概念有多種方法及工具可供使用，如元素流分析 SFA(substance flow analysis)、產品流分析 PFA(product flow accounts)、物質平衡(material balancing)、生命週期盤查(life cycle inventories)及總合物質流帳(bulk material flow accounts)等。計算單位以物理量(physical units)呈現，通常以重量單位表示，如 kg、ton 等，分析範圍涵蓋開採(extraction)、生產(production)、轉換(transformation)、消費(consumption)、再循環(recycling)及廢棄(disposal)等階段。物質流分析也可以進行不同空間尺度的分析，包括跨國、國家、區域、社區(community)或公司等層級。

運用物質流做管理之目標包括：(1)資源保育及降低能資源消耗、(2)降低廢棄物產生量及環境負荷。若欲達成此目標則需藉由分析、評估及管理物質及產品在人類圈中的流量及存量。如同一般會計用來檢視資金之收支平衡，物質流分析方法可用來檢視物質的投入產出情形，並加以改善能資源的效率或供需平衡，運用於大尺度的系統，物質流分析亦可檢視人類圈物質的循環情形。若運於中小尺度的系統，例如都市、工業區或工廠，此工具可提供決策者物質消費及使用效率等資訊，以支援永續城市的建構發展，或

指向減少生產製程的物料成本的方案，物質流分析的結果也有助於思考新產品設計及原料選擇，還可協助人類預測物質釋放至環境對未來之潛在危害。因此，物質流分析可作為決策重要參考依據，產業能依此持續改善製程及使用效率，同時也為經濟永續發展盡一份心力。

物質流分析傳遞一個完整且一致的資訊，物質流系統中是由流向流量(flow)及製程(process)及存量(stock)所組成。檢核投入產出的平衡，廢棄流向，將有助於掌握及實際系統所造成的環境負荷，物質流分析確認物質的來源；而且檢討消耗或累積趨勢與速度對未來的存量的影響，故可以及早被發覺相關問題，以提供預防性的對策，因為對當短期間看似微小的問題，做出的微小管理變革，在長遠看來可能會避免巨大的損失。物質流計算(Material flows accounts)是追蹤物質在開採、製造、使用、廢棄、回收等各階段之使用情形，如圖 2 所示，其分析結果可以作為資源、環境、廢棄物管理的基礎。

三、常用物質流名詞定義

物質與能源會在人為系統(Anthroposphere)及環境系統(Environment)中交互流動，而人為系統所包含之項目更廣，如空間、資訊及社會經濟議題等。物質流分析雖然可以不包括人為系統的項目，然而在大部份的案例中，這些面向的影響必需在物質流分析結果中使用。因此，物質流時常結合能源、經濟、都市計畫之分析。常用之物質流名詞定義如下：

(一) 物質 (material)

在物質流分析中，物質(material)一詞可用於純物質(substance)或貨物(goods)的意思。在化學中，純物質被定義為一種具有單一均勻單位的物質，若此單位為原子(atoms)則稱為元素(element)，如碳(C)或鐵(Fe)；若為分子(molecules)則稱為化合物(chemical compound)，如二氧化碳(CO₂)、二氯化鐵(FeCl₂)。貨物是指由純物質或混合物所組成的有價物質，有些物質具有正面價值(如汽車、燃料、木材等)，有些則具負面價值(廢棄物、污泥等)。雖然在經濟學中，廣義的貨物一詞亦包含非物質性的貨物，如電力以及資訊服務；在物質流分析上，貨物僅代表物質性的。但是，在應用物質流分析管理時，物質流分析所定義物質和經濟學所定義之物質，兩者間的關聯性相當重要，若處理資源管理之議題，便需要同時從經濟學與物質流之面向做整合性的分析。

(二) 程序 (process)

程序(process)被定義為物質的運輸(transport)、轉換(transformation)或儲存(storage)

過程。運輸可以是自然的，也可以是人為的，前者如磷隨著在河川流動，後者如用管線中輸送天然氣至消費端或廢棄物清運。而轉換程序亦有屬自然及屬人為系統兩類。

(三) 存量 (stock)

存量(stock)的定義為物質留存於分析的系統中，且以重量單位計算。存量是程序的一部份，存量是系統代謝(metabolism)重要的特性之一。當某程序的輸出與輸入相等，存量不變化，而處於穩態(steady-state)，存量亦可能是處於增加或減少的狀況。

(四) 流量/通量 (flow/flux)

流入或流出程序的物質是由流量(flow)或通量(flux)表示，流量係指單位時間的流量，常用計量為公噸/年，通量指單位時間通過某單位切面的量，國家級物質流分析常會以單位人口做為其單位切面，便於比較各國的物質密集度，故其計量單位為噸/人·年。流量或通量在跨越系統邊界(system boundary)時稱為進口(import)或出口(export)；而跨越程序時稱為輸入(inputs)或輸出(output)。

(五) 系統 (system)

系統(system)是由數個流量、存量與程序所組合而成的集合，最小的系統至少包含單一程序(process)。物質流分析案例中可見不同的系統，例如：地區、都市焚化爐、家戶、工廠及農場等。而系統邊界(system boundary)係指系統的時間跟空間邊界，空間除了可指地理或行政上的區域(如：集水區、縣市界)，也可以實際活動作為邊界(如：家戶及維持其家庭生活所需的衛生、運輸等服務)。

(六) 活動 (activity)

除了上述的基本系統組成之外，在物質流分析中，亦常常納入活動資訊，運用其對於物質流系統以進行評估與設計，活動可包含許多程序，並引起許多物質的流動。基本上，活動是為了各種滿足人類需求的行為，例如食物的攝取、清潔、溝通、居住等等，物質流管理關切諸多人類經濟活動的模式，如何減少物質資源的消耗，同時又能滿足人類的需求。

(七) 人類活動圈的物質代謝(metabolism of anthroposphere)

人類活動圈是由能量、物質還有訊息交換的複雜空間所組成，屬於地球的一部份，而且包含了所有由人類設計、運作的程序。人類活動圈可以比擬為一有機體，如同自然界的生態系，其健康的代謝需要透過生命體內的各種生物化學轉換、養分的吸收、傳輸以及儲存等方式來進行。人類活動圈與環境的交互作用則是透過資源的開採、使

用以及廢棄物排放等物質代謝方式來進行。簡單來說，人類活動的所有區域都可視為人類活動圈範圍，物質流之父 Brunner 與 Rechberger (2001) 藉由物質流分析，發現了許多人類圈特有的物質代謝的現象，並因此指出資源管理、廢棄物管理及環境管理的關鍵議題。

四、物質流系統盤查與計算

物質流的系統邊界通常由研究目的來決定，而且通常會與國土範圍、都市行政區或是工廠所設置的區域空間一致。一般而言，系統邊界通常會選擇設置在國家、州、都市等行政區，因為研究所需的統計資料大部分都以行政區為單位來建置。對於物質流分析而言，系統範疇的選擇應該以能夠將所有程序與物質流納入的情況下，盡可能縮小系統邊界。以都市中營養鹽的物質流分析為例，居住在都市中的民眾攝取生活所需的食物，而生產食物的製程中隨著土壤的流失以及肥料的使用，會對生產食物的所在區域造成環境衝擊，若都市本身並非食物生產地，在進行都市的營養鹽物質流分析時，系統範疇除了都市本身之外，同時也該將供給都市食物來源的生產農地納入考量(Brunner 與 Rechberger, 2004)。

在物質流分析中，系統邊界的選擇扮演著重要的角色，而最合適的系統範疇則會依據每個研究背景與目的不同而相異。時間的系統邊界相對空間邊界而言較容易決定，特別是適用長時間內平均流量與存量變動的研究，系統即使有短暫不穩定起伏，但對長期的總變化並無明顯影響。對於許多人為系統的物質流分析，研究的時間區間通常會選擇以年作為單位；如果研究的目的主要係探討隨時間內的異常變動，需要較的時間解析度，則較短的時間區間較適合作為研究的範疇。

(一) 分析物質與分析物品之選定

物質流分析中，有許多方法可以用來選定欲分析的物質，其中較常用的方法是根據物質流分析的目的或是分析的系統來選定物質。一般而言，可參考法規所規範物質做為選定的依據，例如空污法規、材料標準等，對這些物質，已具有相當程度的了解與知識，另一方面也可以確定所選定的物質有受到主管機關的重視。

其次，在分析系統中影響程度較大的物質也會納入分析評估。例如選擇對環境影響較大的物質進行分析，而評估的指標會以物質在環境中流量的多寡或是單位物質對於環境衝擊強度的大小來選定，如營養鹽、非再生性資源耗竭、再生資料耗用、有害物質對人體與生態系統之影響或具經濟價值之戰略性物資等等。另外也應該要評估納

入物質流分析的項目貨品是否夠齊全，較可行的方法是將系統中輸入與輸出的物品項目分成固體、液體、氣體三個物品組別，然後在各類別中選取含有該物質之物品，至少應占該物質於該組別的總流量 90% 以上。另外所選的物品項目其目標物質的含量應大於自然的含量，才會造成人類圈對環境圈的干擾，Brunner 與 Rechberger(2004) 計算目標物質在各物品含量與其在地殼岩層含量的比值，若比值大於 10，則可選定為分析物品；若比值皆小於 10，則選取濃度較高的分析。最後分析的結果亦須再次檢視，與一開始選擇的物品項目是否有一致性，以及是否合理。

第三另外許多物質流分析的物質選定方法通常跟探討的問題本身有關，有些問題涉及兩種以上的物質，例如針對歐洲家用物品的銅含量研究，其分析的物質就是銅，如果議題是優養化，則氮與磷都應該納入分析。

綜言之，物質流分析的物質選定最終依據主要仍是根據研究的範疇、目的以及研究可分配之人力、預算、及資料的可及性來決定。從物質流分析的經驗中，在人為或自然系統中受到關注且具有影響的物質僅有一小部分，大致上以 N、P、Cl、Fe、F、Cu、Zn、Hg、Pb 為較常見的化學元素。

(二) 量化系統內目標物質之流量與存量

在確認分析物質與系統邊界之後，首先應對於系統進行粗略的質量平衡，透過文獻、報告或者向有關單位進行訪談，可取得所需物質的相關資料。在這個步驟中，小於系統輸出流量 1% 的物質可以忽略不計；然而流量較小的物質對於系統的物質平衡仍具有一定程度的影響，因此在後續詳細對於物質流量調查分析的時候，應該再重新檢視被忽略掉的物質相較於整個系統而言，是否確實可以被忽略不計。下圖 3 為單一程序物質流平衡圖，包括輸入(input)、輸出(output)及存量(stock)。其平衡計算方式為輸入等於輸出加上存量。

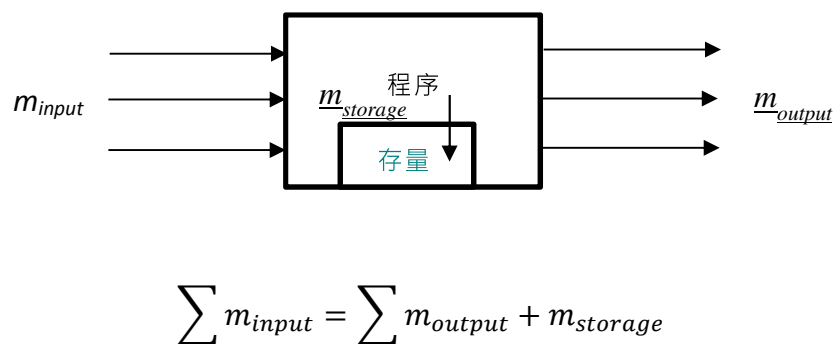


圖 3：製造程序中物質流示意圖及計算公式 (Brunner and Rechberger, 2004)

產品中的元素總量(\dot{X})，可以直接透過產品質量(m)與元素在產品中的濃度或含量(c)計算得到。計算公式如下：

$$\dot{X}_{ij} = \dot{m}_i \cdot c_{ij}$$

其中

$i=1, \dots, k$ ，指產品種類

$j=1, \dots, n$ ，指在該物種產品中所含元素的種類

若欲盤查的 n 種元素存在 k 種不同的產品中之流量，則可製成一個 $n \times k$ 的矩陣。上式之結果可由下表 1 表示，其中 G 代表產品， S 代表元素。

表 1：產品中元素流含量計算

物品	流率 噸/年	元素含量 $S_1, S_2, S_2, \dots, S_n$, 毫克/公斤					元素流率 $S_1, S_2, S_2, \dots, S_n$, 公斤/年				
		C_{11}	C_{12}	C_{13}	...	C_{1n}	X_{11}	X_{12}	X_{13}	...	X_{1n}
G_1	m_1	C_{11}	C_{12}	C_{13}	...	C_{1n}	X_{11}	X_{12}	X_{13}	...	X_{1n}
G_2	m_2	C_{21}	C_{22}	C_{23}	...	C_{2n}	X_{21}	X_{22}	X_{23}	...	X_{2n}
G_3	m_3	C_{31}	C_{32}	C_{33}	...	C_{3n}	X_{31}	X_{32}	X_{33}	...	X_{3n}
.
.
.
G_k	m_k	C_{k1}	C_{k2}	C_{k3}	...	C_{kn}	X_{k1}	X_{k2}	X_{k3}	...	X_{kn}

資料來源：Brunner and Rechberger, 2004

欲達到物質平衡，除了上述進流及出流量之估算外，亦需考量物質之存量(stock)。目前主要有兩個方式可以估算系統內的存量：第一，直接計算存量的大小或是透過存量的體積與密度來計算系統中的總存量，此方法通常應用於存量不隨時間變動的系統中 ($m_{\text{storage}}/m_{\text{stock}} < 0.01$)；另外一種方法是針對存量快速變動的系統 ($m_{\text{storage}}/m_{\text{stock}} < 0.05$)，在這類系統中，存量的變化可以透過輸入與輸出隨時間變化的差值(t_0-t)來計算，其中 t_0 時間的存量已知，假設 m_{input} 與 m_{output} 和時間無關，利用下列公式可計算任何時間 t 的存量 (m_{stock})。質量平衡的概念可應用於系統中所有程序及所有物質，造成物質無法達到平衡的原因可能是某些物品的流量被忽略而沒有被納入系統，或者是物質濃度的資料有誤。通常系統輸入與輸出的差值在 10% 之內可被視為合理的誤差。

$$m_{\text{stock}}(t) = \int_{t_0}^t m_{\text{input}}(\tau) d\tau - \int_{t_0}^t m_{\text{output}}(\tau) d\tau + m_{\text{stock}}(t_0)$$

五、應用軟體介紹

物質流分析目前已有成熟的應用軟體，而不同的軟體各有其優缺點，在此介紹其中兩種常用之物質流分析軟體，包括 STAN 及 UMBERTO，分述如下。

(一) STAN

STAN 為最早提供物質流分析之免費軟體，由奧地利 Cencic 與 Rechberger 等人所研發。雖然尚無法進行過於複雜的物質流分析，然而易於上手之使用者介面及免費等特性(下載網址 www.stan2web.net)，使該軟體成為進行物質流分析之重要工具。

STAN 操作介面如下圖 4 所示，STAN 軟體主要優點如下：

1. 圖形化介面易懂易操作
2. 資料輸入考慮不同單位及不確定性
3. 可區分為不同時間及階層(產品、物質、能源)
4. 可修自行偵測及修正錯誤
5. 可以與 Excel 連結，進行輸入及輸出之轉換
6. 免費軟體

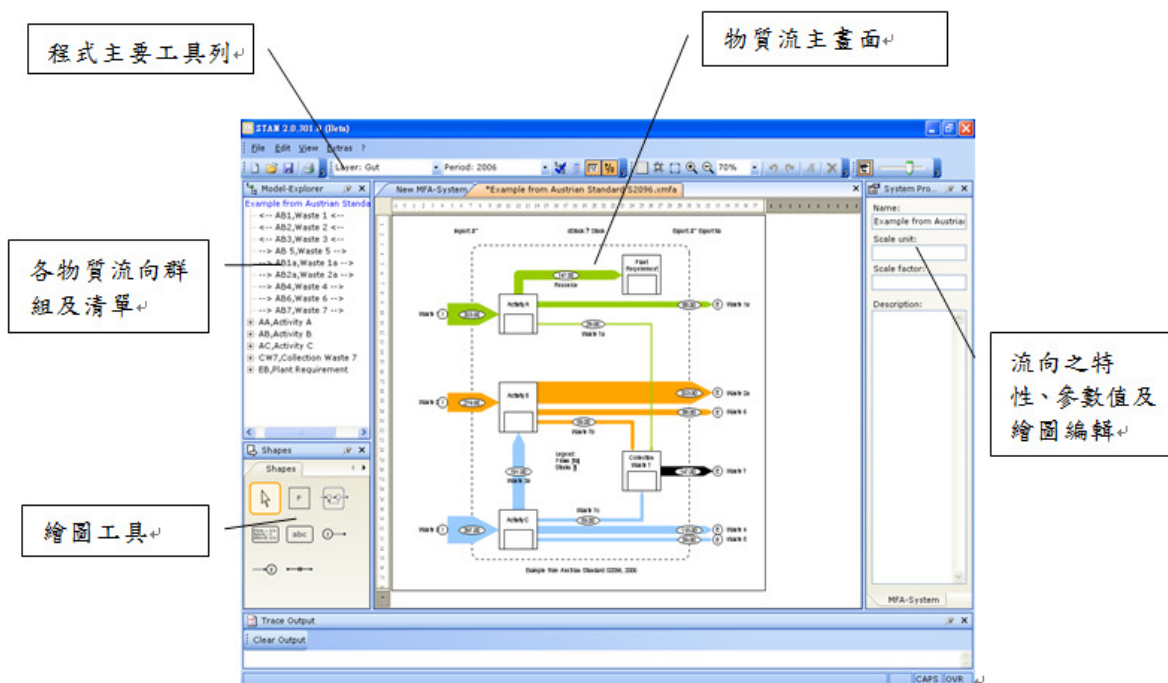


圖 4：STAN 軟體示意圖

(二) UMBERTO

Umberto NXT 軟體是德國 ifu Institute for Environmental Informatics Hamburg GmbH 軟體系統設計公司，從 1992 年開始，致力於發展軟體，協助管理製程、產品與生產系統，旗下 Umberto NXT 是一物質流為基礎所開發出來的軟體，在軟體系統中可以輕鬆建立生產系統之 Sankey 圖，有助於製程工程師與管理階層進行有效之溝通，促進製程改善，截至 2013 年 11 月最新版的套件功能包含：

1. 能源流與 CO2 排放當量分析(Umberto NXT CO2)
2. 製程生命週期評估(Umberto NXT LCA)
3. 製程效率與物質流成本會計分析(Umberto NXT Efficiency)(圖 5)

Umberto 有以下特色：

1. 在 Umberto 中能有效建立視覺圖型化的系統模型(圖 6)，清楚描述系統內各程序之物質流與能源流，流量和流向路徑都一目了然，有助於工程師與管理階層認識系統的狀況、問題與改善機會。
2. 透過 Umberto 反映製程系統物質與能源使用之成本，找發掘降低成本的契機，同時也提升製程之能源與物質效率。
3. Umberto 提供模擬功能，於 Umberto 建立新製程之系統模型，以評個製程改變的成果，以達成製程改善之目的，例如節省能耗或是有效提高產量。
4. Umberto 可以輸出簡明易懂的 Sankey 圖，有助於團隊合作來進行系統設計或系統改善，製程設計研發團隊可以藉由 Sankey 圖，對系統中特定關鍵程序提出改善方案。
5. Umberto 建立的模型結合了程序技術資訊以及系統整體的視野，適合進行物質流管理。

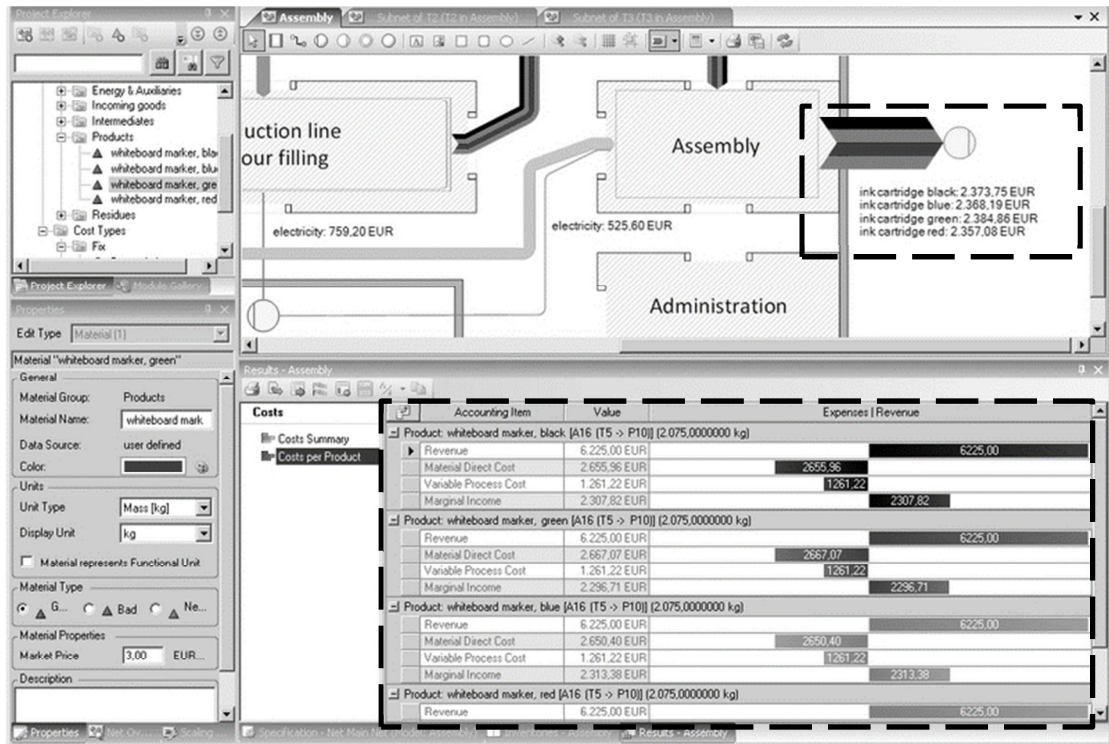


圖 5：Umberto 成本分析(資料來源 Umberto 網站)

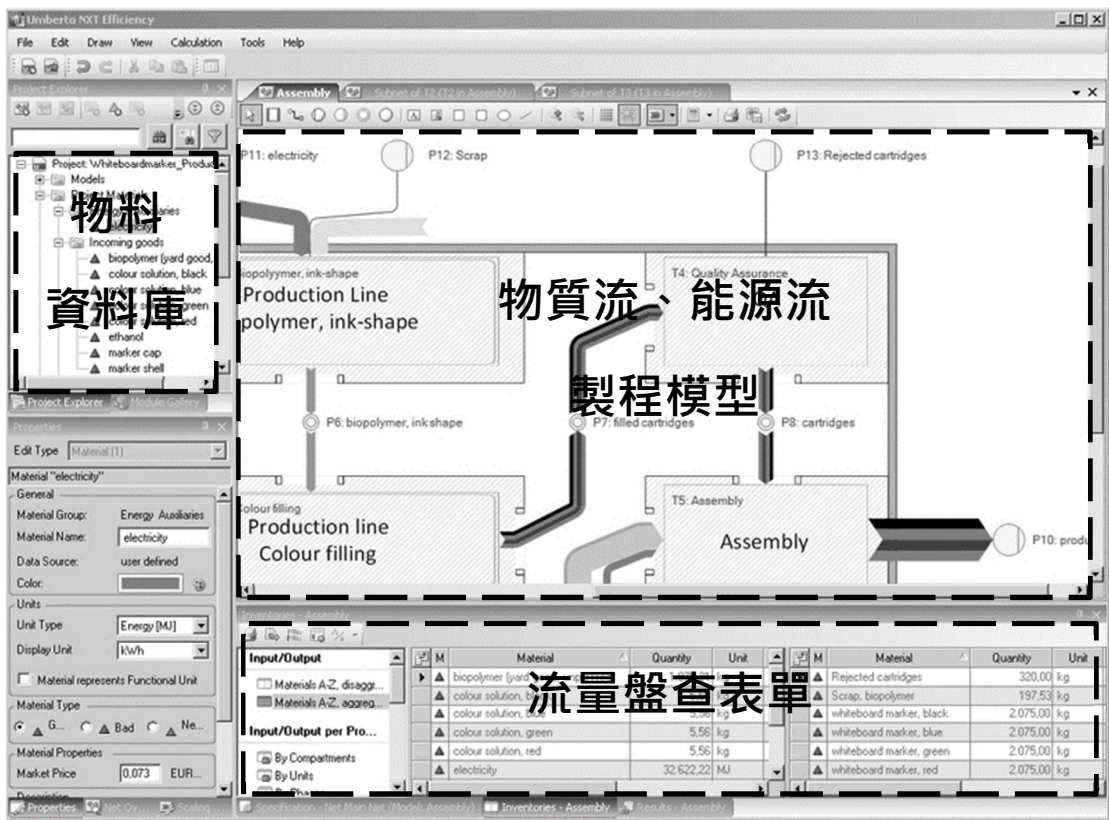


圖 6：Umberto 操作介面(資料來源 Umberto 網站)

第二章 國家層級物質流分析技術

一、各國之物質流分析工具使用現況

(一) 物質流管理在國家政策上之應用

歐盟執行委員會(European Commission)於 2002 年提出第 6 次環境行動計畫(6th Environmental Action Programme, 6 EAP)，針對天然資源永續使用策略之描述為：「物質永續使用策略為確保物質使用量與其造成之環境衝擊不會超過環境涵容能力，並促進經濟成長與資源使用兩者脫鉤」，此為近代物質管理策略提出明確之註解。

經濟合作與發展組織(Organization for Economic Co-operation and Development, OECD)在 2001 年提出永續物質管理(Sustainable Material Management, SMM)的概念，希望以生命週期概念出發，降低物質對環境之負面衝擊。OECD 各會員國亦陸續提出各國之 SMM 本土化定義，作為環境政策制定之依據。我國亦於 2008 年第二次 SMM 會議中就廢棄物管理、生態工業園區建構與半導體回收等政策面向，提供經驗分享。現今各國在擬定環境相關政策時，永續資源管理為其共識與努力目標，期望在考量經濟發展與環境公義下，透過降低物質生命週期過程中負面環境衝擊，並保存自然資源之行動，達成物質永續使用之目標。

物質永續使用須轉變傳統工業活動中開放式線性形態流動，而是仿效生態系統之觀念，使物質代謝構成一封閉式迴路，物質不以廢棄物方式離開系統，而是重新投入新的製程，使物質循環於人類活動之中，達到永續使用的目標。以生態理論應用於工業系統即為工業生態學之基礎概念。擴展生物圈法則至經濟圈，以物質流分析兩者間之互動關聯，包括資源的開採與污染物產出，都屬工業生態學所欲解決之議題。工業生態學概念可應用之研究與實務層面包括以下九類¹：

1. 物質流與能量流研究(工業代謝)
2. 去物質化與去碳化
3. 人類技術改變對環境之影響
4. 含生命週期思考之規劃、設計與評估
5. 環境化設計
6. 生產者延伸責任

¹ 工業生態學期刊 <http://www.is4ie.org/jie>

7. 生態工業園區
8. 產品導向之環境政策
9. 生態效率

由以上可知，工業生態學在應用上有兩個主要特點：首先，著重於環境圈與經濟圈間之關聯，尤其是人類活動所造成之環境衝擊。再者，對物質的探討應思考其完整生命週期，而非侷限於末端廢棄物與污染物排放階段之環境危害。以永續物質管理角度而言，物質流分析成為工業生態學中一項重要的分析應用工具，運用物質流分析，我們可以由流向與流量鑑別各資源運用與污染物排出所造成之環境衝擊熱點，藉此聚焦於提升資源生產力與降低環境衝擊的方法，達到永續物質管理之目的。

許多國家體認永續物質管理之重要性與趨勢，逐漸採用物質流相關應用工具，探討其國內物質使用流布情形。以下簡述日本、德國、丹麥與英國之做法，介紹國家層級物質流分析之應用現況。

(二) 日本

日本推動循環經濟發展堪稱為世界標竿，在建立循環經濟法體系的基礎上，明確制訂循環型社會推動計畫，並利用物質流分析方法訂定出具體的發展目標。日本於1992年開始進行經濟系統物質流研究，主要是由國家環境研究院(National Institute for Environmental Studies, 簡稱為 NIES)每年提報物質流資料；另外，日本環境廳(Ministry of Environment, 簡稱為 MOE)則負責編撰物質流指標。在日本，與物質流相關之主導機構除了 NIES 與 MOE 之外，還包括日本環境衛生中心(Japan Environmental Sanitation Centre, 簡稱為 JESC)，以及民間之顧問公司 Fuji 研究院(Fuji Research Institute Corporation)。學術界研究的主題包括實體投入產出表(Physical Input-Output Tables, 簡稱為 PIOTs)與生命週期評估(Life Cycle Analysis, 簡稱為 LCA)等。以下簡介四種日本常用的重要方法：

1. 經濟系統物質流帳(Economy-wide MF accounts, 簡稱為 EW-MFA)：EW-MFA 乃依據歐盟統計局之架構與方法，內容涵蓋 1980 年至 2004 年之資料，由日本政府每年進行資料更新。
2. 實體投入產出表(Physical Input-Output Tables, 簡稱為 PIOTs)：PIOTs 是結合日本國內的經濟投入產出表，已成為國家環境統計系統之一部分，早期試用版之 PIOTs 是由 NIES 編撰完成。
3. 國民經濟會計環境矩陣(National Accounting Matrix including Environmental

Accounts，簡稱為 NAMEA)：NAMEA 是由經濟社會研究院(Economic and Social Research Institute，簡稱為 ESRI)編輯，主要將環境負荷納入經濟投入產出表中。

4. 物質系統分析(Material System Analysis，簡稱為 MSA)：已完成幾類工業物質之分析，包括木材類、塑膠類、金屬類與可回收再利用之物質等。

日本近年來研究的主要方向為利用不同尺度的物質流模型，建立對應的指標與方法，以評估永續生產與消費相關政策。在相關之資訊推廣方面，日本已出版了兩本與環境會計相關的主題書，一本是將能源與排放密集度資料整合至國家投入產出表；另一本則是利用物質流分析，描述與日本相關的全球資源流動。第三本物質流著作於 2004 年出版，主要是建立收成木材之實體投入產出表以及計算與其相關之碳流動現象。

日本政府於 2000 年頒布「循環社會基本法」，依據該法之精神，於 2003 年推動「建立循環型社會基本計畫」，該計畫每五年修訂一次；2008 年再度頒布「建立循環型社會第二基本計畫」，該計畫明白揭示日本邁向永續發展的架構，必須結合循環型社會、低碳社會以及與自然和諧共生、社會共同發展。在推動「建立循環型社會基本計畫」時，日本政府將物質流指標納入循環經濟政策指標中，並明確制訂執行期程，三個重要指標分別為資源生產率、回收再利用率與廢棄物最終處置量，其定義與目標如下：

1. 資源生產率：指單位物質投入量所產生的 GDP。日本政府計畫該 GDP 由 2000 年每噸 280,000 日圓，提升至 2010 年每噸 390,000 日圓。
2. 回收再利用率：指再利用和再使用物質的數量與總物質投入數量的比值。日本政府計畫該利用率由 2000 年的 10%，於 2010 年提升至 14%。
3. 廢棄物最終處置量：指無法再利用和再使用，最終成為廢棄物之量。日本政府計畫該處置量由 2000 年的 5600 萬噸，於 2010 年減少至 2800 萬噸。

除了以上三個重要指標外，另建立數個補充指標、偵測改變之指標、驗證指標等，以下條列各項擴充的物質流指標：

1. 量化指標
 - (1) 資源生產率=GDP/直接物質輸入 DMI
 - (2) 循環：循環使用率(循環使用量/總物質輸入)
 - (3) 輸出：最終處理量(廢棄物)

2. 補充指標

- (1) 非地球與岩石耗用之資源生產力
- (2) 低碳社會
 - a. 廢棄物 CO₂ 減量
 - b. 廢棄物部門溫室氣體排放

3. 偵測改變之指標

- (1) 石化資源生產力
- (2) 生質資源輸入率
- (3) 總物質需求分析(TMR)與隱藏流(hidden flow)
- (4) 以國際資源循環為基礎之指標
- (5) 工業區資源生產力

4. 驗證指標：計算環境負荷、轉換因子等相關盤查方法之發展，以利日後國際合作與驗證

另外，日本政府也制訂執行循環型社會之成效指標，各項指標條列如下：

1. 設定目標之指標

- (1) 廢棄物減廢量
 - a. 市鎮廢棄物減少量
 - b. 工業廢棄物減少量
- (2) 對循環型社會關注之改變
- (3) 提倡循環型社會之商業
 - a. 提倡綠色消費
 - b. 提倡環境商業管理
 - c. 擴充循環型社會商業市場
- (4) 個別循環法持續進行

2. 偵測改變之指標

- (1) 租賃市場規模
- (2) 購物袋重複使用率
- (3) 二手貨市場規模、電池回收率
- (4) 可重複使用杯子之數量
- (5) 地方層級執行物質循環基礎計畫之數量
- (6) 執行垃圾付費之地方政府比例、廢棄物減量頂尖城市

(7) 資源回收設備數量

(8) 市鎮廢棄物回收率、廢棄物收集量

由日本實際經驗顯示，物質流分析方法所計算出的重要指標，尤其是三個量化指標，是推動循環型社會發展的重要依據。在物質循環的理論架構下，日本建立了不同層級的循環經濟模式，從企業的小循環，到整個社會的大循環，都有成功的模式值得各國參考學習。

(三) 德國

德國在物質流分析之成就舉世聞名，其擁有相當豐富的物質流分析經驗，早在 1990 年代中期，即編撰世界第一個實體投入產出表(PIOTs)，此實體投入產出表主要是仿效該國國家會計系統中的貨幣投入產出表，並將物質流分析納入該投入產出表中。德國並以物質流分析架構與實體投入產出表為基礎，發展整合性物質能源流資訊系統(comprehensive Material and Energy Flow Information System，簡稱為 MEFIS)。

1. 實體投入產出表(PIOTs)

整個 PIOTs 分為 60 個經濟生產與消費活動別，成為建構德國實體流會計的主體架構。目前德國國家主要的會計系統包括環境經濟會計系統(Environmental Economic Accounting，簡稱為 EEA)、國民經濟會計制度(System of National Accounts，簡稱為 SNA)與環境經濟綜合帳整合系統(System of Integrated Environmental and Economic Accounts，簡稱為 SEEA)，由於 PIOTs 發展相當成熟，使得上述幾個會計系統皆可相容。

現階段德國實體流會計系統中除了以 PIOTs 做為主架構外，另外並涵蓋數個次模組(sub-modules)。這些次模組包括經濟系統物質流帳(EW-MFA)、NAMEA 類帳(包括能源流會計、初級物質流帳、水資源流帳、空氣污染物排放帳、廢棄物流帳、區域實體流帳等)，未來 NAMEA 類會計將納入營建與交通面積、運輸、環境稅與環境費之資訊等。PIOTs 僅於 1990 年與 1995 年分別進行編撰，而各次模組(sub-modules)則固定每年進行編撰，因此各次模組可以做為 PIOTs 的輔助系統。

2. 經濟系統物質流會計(EW-MFA)

EW-MFA 主要是由學術界於 1993 年發展出的一套會計系統，其功能在於描述經濟系統與自然系統間物質交換，可以測量輸入、流出與留存於系統的物質量。德國首次計算 1993 年至 2000 年的 EW-MFA，並提供聯邦政府 1960 年、1970 年、1980

年、1990 年四年之物質流會計資料，作為會計系統的輔助資料。整個 EW-MFA 可以與 PIOTs 系統相容，近期德國並計畫出版國家指導手冊：物質流會計。

整體而言，德國物質流分析可謂各國仿效之前驅國家，目前德國聯邦統計局 (DESTATIS) 每年皆提供物質流會計資訊，德國環保署 (UBA) 並在其公布之環境資料 (Environmental Data Germany) 中將物質流指標納入其中，目前有關物質流會計資訊之相關報告，主要是由 UBA 與 Wuppertal 研究院提出。2007 年，UBA 出版有關剛果共和國內稀有鈷鉍鐵礦的開採，此研究凸顯對稀有金屬強烈的需求引起的軍事衝突，並找出現階段可能解決的方法。

3. 指標與政策管理

德國經濟系統物質流會計主要計算的指標包括：DMI、DMC、PTB、DPO、NAS 與原物料生產力 (raw materials productivity) 等。其中，原物料生產力公式為 $GDP/(DMI-biomass)$ ，其觀念與勞動生產力及資金生產力相近，主要呈現國內經濟系統中有關非再生資源的使用效率。與國內政策對應，原物料生產力指標可以納入德國環境指數中，也可以做為德國 21 個永續發展指標之一，在 2002 年德國通過永續發展策略後，宣示 2020 年原物料生產力將提升為 1994 年的 2 倍。此外，德國政府也將能源生產力納入政策執行目標中，宣示 2020 年德國在能源生產力方面，將提升為 1990 年的 2 倍。長遠來看，德國政府若要達到上述的具體成果，該國資源與能源消耗應降低至 4 倍級 (Factor 4) 的水準。

(四) 丹麥

丹麥政府並沒有正式的物質流會計計畫，不過丹麥學界在丹麥研究基金會 (Danish Research Foundation)、丹麥環保署 (Danish Environmental Protection Agency) 與歐盟統計局 (Eurostat) 的經費支援下，已陸續完成 1997 年至 1999 年與 2002 年至 2006 年的 EW-MFA。此外，丹麥也於 2006 年依據實體供給使用表，編撰較詳細的物質流資料庫，資料涵蓋 1993 年至 2002 年。丹麥計畫 2007 年底開始將物質流會計納入丹麥環境會計中，並且定期出版 EW-MFA 資料。整體而言，丹麥在 EW-MFA、NAMEA 與 PIOTs 都有相當豐富的經驗。

丹麥有關物質流分析之主導機構包括丹麥統計局 (Statistics Denmark) 與丹麥環保署 (Danish EPA)。丹麥統計局主要負責物質流分析 (MFAs) 與實體投入產出表 (PIOTs)；丹麥環保署則負責計算與國家永續發展相關的物質流指標。

1. 經濟系統物質流會計(EW-MFA)

編撰 EW-MFA 主要是依據歐盟統計局(Eurostat)之方法論，並根據丹麥統計局的實體供給使用表與物質流資料庫，目前可以取得 1997 年丹麥 TMR 的數據，以及 1993 年至 2002 年 DMI、DMC 與 PTB 的數據。

2. 實體投入產出表(PIOTs)

1990 年開始編撰，以實體供給使用表為基礎，涵蓋 27 個產業與 1600 項產品；而 2007 年所編撰的 PIOTs 則建立於擴充的實體供給使用表，該實體供給使用表已涵蓋了 1800 項產品。此外，PIOTs 也建立了產業之廢棄物會計帳。

3. 丹麥國民經濟會計環境矩陣(NAMEA)

此為國家會計中的衛星會計系統(satellite accounting system)，此會計系統主要是結合經濟、資源與污染等資料，目前相關資源與污染資料包括能源、水、空氣污染物與廢棄物等。

4. 指標與政策管理

丹麥政府計畫自 2007 年底開始，每年皆發布 EW-MFA 指標，包括 DMI、DMC、PTB 等。有關政策管理部分，丹麥在其永續發展國家策略報告中，確立了資源效率化的目標與原則，為達成資源效率化的目標，丹麥政府著眼於能源消耗、飲用水之消耗、全國廢棄物總量等三項，分析此三項因子與 GDP 的關聯性，以此做為偵測國家永續發展的重要觀察項目。

(五) 英國

英國於 1999 年開始進行物質流分析，並發展出經濟系統物質流會計(EW-MFA)，在 2002 年出版的 EW-MFA，其資料庫主要涵蓋英國 1970 年至 1999 年之物質資料，英國之物質流會計主要是由英國國家統計局(Office for National Statistics，簡稱為 ONS)主導。物質流會計已納入政府會計之一部分，除政府部門執行物質流會計外，民間非官方組織也同時進行實體投入產出表(PIOTs)之計算工作。

1. 物質流分析系統

在英國，與物質流相關之三大評量系統包括：經濟系統物質流帳(EW-MFA)、物質流質量平衡(MF Mass balance)、實體投入產出表(PIOTs)。其中，EW-MFA 乃由英國國家統計局(Office for National Statistics，簡稱為 ONS)主導，2002 年正式出版

EW-MFA，其資料庫主要涵蓋英國 1970 年至 1999 年之資料，目前更新版本為 2005 年出版之 EW-MFA。ONS 針對 EW-MFA 正著手於幾個方面之研究：(一)間接流之評估、(二)物質的邊界，研究物質在國與國間進出口貿易活動中所造成之環境衝擊，並研究可行之評估方法、(三)相關的環境衝擊與毒性權重計算之研究。

2. 物質流質量平衡(MF Mass balance)

2003 年英國已完成物質流質量平衡計算，目前物質流質量平衡計畫主要是由未來論壇組織(Forum for the Future)執行，稱為 Biffaward Mass Balance programme，該計畫涵蓋特定物質、特定區域、特定部門、與廢棄物管理等四大方向之計畫，可以協助企業界掌握物質資源在使用時所帶來的環境衝擊。

3. 實體投入產出表(PIOTs)

計算工作主要是由 Stockholm 環境研究院與都市與區域生態機構共同執行，2005 年並發表技術報告書供各界參考。

4. 指標與政策管理

在英國發展的相關物質流指標包括 DMI、DMC、TMR、物質生產力(人均 GDP/人均 DMC)等，英國之物質指標為國家永續發展指標之一，不過英國政府尚未將物質流指標納入成為官方之永續指標。在實際之政策執行方面，英國政府目前並未針對資源使用提出具體的政策目標，不過依循該國永續發展之方向，英國政府承諾致力於提升該國之資源生產力。

二、國內物質流研究案例現況

國內對於物質流之研究屬於剛起步階段，但對於資源或廢棄物之問題已有不少研究成果。下表 2 為整理台灣現階段已執行的國家層級物質流的相關研究，研究議題包括重金屬、廢棄物、能源、天然資源及產品等類別，關注之面向包括下列三點：(一)資源使用及消耗、(二)資源再利用現況與未來因應對策、(三)對台灣環境造成污染之物質流布情形及改善方針。以下以鋅(Zn)為案例說明：

中技社與台大研究團隊針對鋅物質曾經進行國家層級物質流布盤查，並得出具國家整體規劃及發展方向之結論。圖 7 呈現台灣整體鋅循環的現況，工業對鋅的需求來自鋼鐵鍍鋅處理，占總用量的 61.3%、染料占 20.5%、黃銅占 12.5%，因此在廢棄物資源管理的體系中，鋼鐵鍍鋅處理的鋅回收會是最重要的一部分。而且分析廢棄金屬占了總鋅

廢棄的 28.7%，這一部分也具有高度回收的潛力。另外在都市的固體廢棄物(MSW)以及工業廢棄物中的鋅流量也有明顯的貢獻(71.3%)，然而其組成複雜，鋅含量低，鋅資源的再生並不經濟。

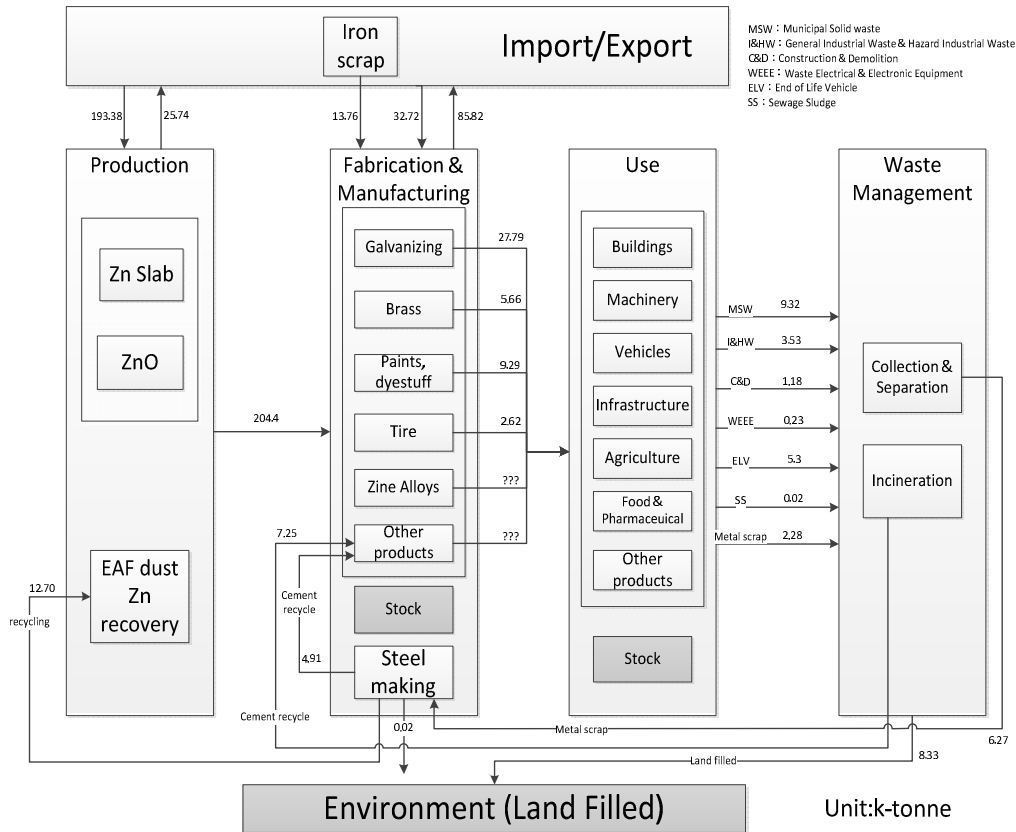


圖 7：台灣鋅物質流之循環現況 (Ma et. al., 2011)

與全球一樣，鋼鐵工業是鋅在台灣最主要的用途，我們嘗試探討鋅如何投入到鋼鐵工業與其最後流向，對於國內外產品流動、資源回收、廢棄物管理等整體流布情況進行細部調查，找出可供問題改善的契機。圖 8 為 2009 年鋅在台灣鋼鐵工業中的流向循環情況。

由圖 8 所知，台灣電弧爐灰及轉爐灰之鋅含量高，可回收粗氧化鋅作為煉鋅原料。在台灣，電弧爐灰以旋轉窯爐與 Primus 等製程回收，轉爐灰則是以旋轉熱還原爐(RHF)回收氧化鋅與鐵。因台灣規範電弧爐灰為有害事業廢棄物，限制其再利用用途，使用電弧爐灰一度成為各廠的燙手山芋；然而經由分離處理過後的粗氧化鋅不但可以出售，且副產物爐渣還可以再利用於道路鋪面與水泥製造等用途，這些電弧爐集塵灰，反而變成了有價的資源。

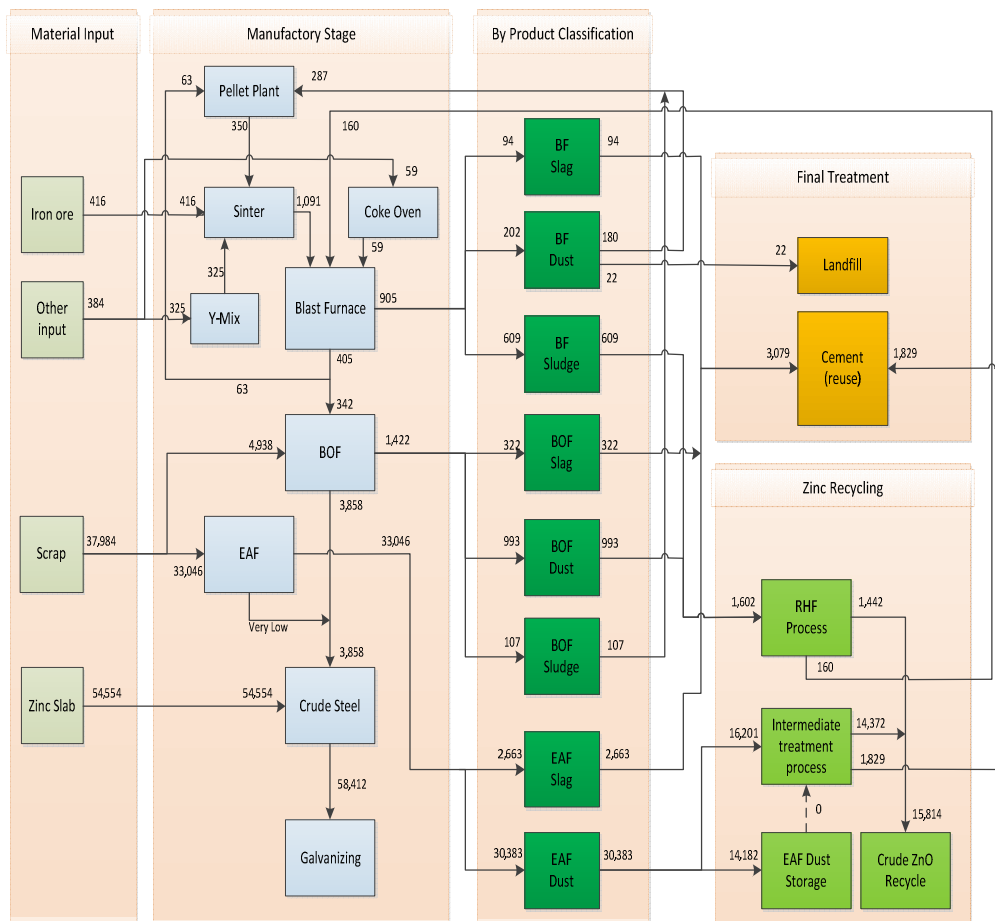


圖 8：鋅在鋼鐵工業製程中與廢棄流向 (Ma et. al., 2011)

雖然大部集塵灰中的鋅(約 89%)都可以被有效地回收，但仍有大約 11%的鋅會進入旋轉窯爐渣當中，其再利用方式將終止其內的鋅之循環，無法再生為鋅金屬，若再加上轉爐煉鋼的廢棄物用於水泥或級配以及進入掩埋場的部分，2009 年台灣在鋼鐵工業中，總共流失了近 5 萬噸的鋅。

在鋅回收的部份，台灣在 2009 年電弧爐灰的產量為 14.9 萬噸，此量大於全台所有電弧爐灰的處理容量(8.5 萬噸)，所以有 42.8%的電弧爐灰被暫存在各個電弧爐廠中，所幸在 2010 年後台灣的處理容量將可提昇至 20 萬噸，不但可以處理每年所生產的電弧爐灰，也可以消化歷年來的暫存量(總共大約 50 萬噸)。由於國內並沒有煉鋅廠，因此大約 95%的粗氧化鋅出口至中國、泰國、以及日本等國家作為煉鋅的原料。

表 2：台灣物質流分析相關研究及內容概述

議題	子題	發表內容
重金屬	鉛	鉛(Pb)為台灣地區使用量最大的重金屬之一，卻屬於毒性有害物質，故本研究藉由物質流分析方法來量化鉛在台灣地區之流布情況，了解台灣地區鉛之使用情況，並找出環境鉛排放之熱點，並透過物質流分析與生命週期衝擊評估結合，將鉛之環境排放利用 USEtox 衝擊評估模式轉換為人體健康與水體毒性衝擊，作為鉛物質管理之參考依據。
	砷	砷(As)被廣泛、多元地應用於經濟活動的使用上，但是，砷及其化合物具有致癌及非致癌之毒害特性，因此在無法有效禁止砷及其化合物的使用下，有必要針對砷進行流布及流向分析、探討。研究顯示，經濟圈主要使用量為玻璃製造業、水泥業、鉛蓄電池、木材防腐業以及半導體、光電業等五項產業，在環境砷釋放上，則是以水泥業、煤礦使用、原油煉解以及金屬礦物冶煉為主要污染釋放熱點。
	鉻	鉻(Cr)被廣泛地用在耐火材、表面處理、製革業和染整業等用途上，然而，鉻化合物為毒性物質，有必要了解其危害程度。該研究參考相關的物質流研究，建立台灣的物質流網路架構，及物質的生命週期系統，然後結合風險評估，以健康風險的角度，了解現今對鉻的使用是否過當。該研究更進一步把環境釋放量，以產業或活動規模分配在各行政區，結果顯示除了宜蘭縣、南投縣、嘉義縣、屏東縣和東部地區，其他行政區的風險與危害性都超過安全標準，即為產業過度發展之結果。
	鎘	土壤鎘(Cd)污染是台灣嚴重的環境污染事件之一，該研究希望能以物質流的概念，建立一鎘金屬在台灣生活圈中流向與流量之初步架構，並估計台灣可能之鎘淨存貨增加量。該研究建立 2000 年台灣從進出口、原料加工、產品製造、市場使用到廢棄物處理階段，鎘金屬之可能流向與流量，並歸納出台灣高鎘金屬貢獻源主要在鎳鎘蓄電池，以及含鎘塑膠（包括 PVC、ABS、HDPE、LDPE、PP、PS）兩類產品。
	鉛	以重金屬鉛(Pb)、鎘(Cd)為對象，進行家戶垃圾處理處置生命週期物質流盤查分析，評估重金屬鉛、鎘的含量及流量分布狀況。依盤查評估結果，家戶垃圾處理處置生命週期中，鉛主要分布於底渣，鎘則以反應生成灰及底渣為主要流向，至於煙道氣中之鉛、鎘量皆甚低。
	汞	燃煤發電是汞(Hg)排放至大氣之主要來源，因此，調查國內燃煤發電程序含汞物質之流布為刻不容緩之議題。該研究採用物質流分析方法，將汞投入來源以燃煤量與煤之汞含量計算，產出之底灰、飛灰、石膏、污泥及煙道排氣等含汞物質，以質量守恆原理進行估算。並依實地訪視之中部燃煤 A 廠、B 廠及南部燃煤 C 廠之權重比例，做為估算台灣地區燃煤產業含汞物質之流布依據。

議題	子題	發表內容
能源	生質能	應用物質流分析與投入產出分析，推估台灣地區產業部門之能源物質投入量，結合綠色國民所得環境延伸表與能源平衡表，估算能源利用衍生之污染產出量，並延伸生質能物質轉換概念，估算再生能源物質當量，最後彙整物質流分析與經濟發展指標，探討能源投入與國民所得之關聯特性。
	生質能	工業代謝領域中之物質流分析方法可以用於檢視區域資源使用的情況，該研究透過建立生質能之物質流分析架構，分析了解生質能對國家整體經濟發展的影響。將我國當前所利用之各類生質能進行初步的統計，並且將生質能之物質流架構結合傳統能源的部分，針對我國整體能源進行物質流分析，分析結果發現 DMI、TMR、DMC 三項指標均呈現逐年成長的趨勢。
廢棄物	廢棄物	以事業廢棄物來看，主要是以工業廢棄物之產量占極大比例，且組成成份也較複雜難處理。該研究嘗試修訂物質流分析產出面向指標，納入目前台灣物質流分析未考慮之副產品與地下經濟，擴大工業廢棄物的統計範圍與指標延伸探討，針對製造過程中所產生的副產品循環，新增國內再生副產品使用率(URRB)、製程副產品可再利用率(RRPB)、副產品使用時間(BUT)及副產品再利用率(RRB)四項指標。
	廢棄物	該研究之目的為:(1)修正台灣地區物質流分析架構並更新其資料庫，其中尤以廢棄物之產出量為探討重點；(2)應用物質流分析與投入產出分析，推估台灣地區產業部門之一般事業廢棄物產出率；(3)結合一般廢棄物排放帳與國內所得，估算家戶部門之垃圾產出率；(4)延伸一般事業廢棄物及家戶垃圾產生量之時間序列資料，預測未來廢棄物產出情形；(5)彙整物質流分析與經濟發展指標，探討廢棄物產出與國民所得之脫鉤現象。
	廢棄物	採用整體質量平衡法與統計學之算術平均分析方法，推求各本土化之再利用事業廢棄物，其再利用率和事業廢棄物產出因子，同時採用整體質量平衡法與物質流分析，探討物質流分析應用於再利用及產出因子之可行性，期望能將已建立之再利用及產出因子應用於事業廢棄物之查核，有效達到事業廢棄物管理目標。
天然資源 / 產品	石化業	該研究是以台灣石化業物料產量及能源使用量為依據，希望透過物質流分析，了解石化業資能源的使用狀況。於是該研究參照 Graedal and Allenby 在 1995 年所建立的工業生態模型，將其修改為五個階段的石化業生態模型，並參考詹子慧在 2002 年對台灣石化業工業生態之研究所運用的部分圖形、代號及計算式，包含了上游物料處理階段、中游物料處理階段、下游物料處理階段、消費者階段、及資源回收階段。

議題	子題	發表內容
	塑膠	<p>該研究旨在探討台灣地區民生用塑膠塊材物質於生命週期各階段之流動情形。研究步驟以工業生態調查流程架構，調查民生用塑膠製品生命週期各階段之生產、外銷與存貨數量，並依質量平衡原理，將各民生用塑膠製品之統計數量均一化為重量單位，再推估各類廢棄塑膠製品廢棄量與公告應回收項目之回收量分析，最後完成台灣地區民生用塑膠製品製造業工業生態調查圖之建置。考量限塑政策推行前、後台灣地區的人口成長變化，並對照民國 88-94 年台灣地區一般塑膠袋及可分解性塑膠袋之耗用量消長情形，明顯發現對塑膠袋之減量效應僅為政策公告初期，近二年來塑膠袋之耗用量不減反增，政策說帖的預期目標與事實差距甚遠。</p>
	金屬罐	<p>進行金屬容器物質流分析。在建構金屬容器工業生態調查評估架構過程中，考量之生命週期包括金屬原料投入、金屬空罐生產、廢金屬容器回收等階段。其結果顯示，在末端使用後廢棄回收的金屬容器，回收量有逐年下降的情形。</p>
	資源生產力	<p>台灣地區的物質流分析架構和資料庫已有初步成果，該研究沿此架構進行資料庫的更新與修正，並以物質流的投入和產出相關指標分析資源生產力。物質流指標的分析結果顯示，台灣的物質需求大多仰賴進口，近年來物質需求量仍有成長趨勢，污染物質的排放亦是逐年增加，且物質使用呈現單方向流動，物質循環利用比例不高。以 IPAT 法分解物質流分析與資源生產力的相關指標，探討物質使用與環境衝擊間的關係，結果發現財富成長是主要影響物質投入與排放的主要因素，因此，惟有提升國家物質的使用效率或生產力，才能有效地降低環境衝擊，以兼顧國家經濟、社會與自然環境三者的平衡發展。</p>
	液晶顯示面板	<p>台灣液晶面板產值市場佔有率達全球 44.2% 以上，相對廢棄面板數量於台灣更相對棘手，該研究以物質流分析方法，針對 2007 年台灣 LCD 面板，包含裸面板與貯存於應用產品中之面板及其中具資源化潛力之組成分進行流布調查與推估。經台灣面板廠排出之廢液晶面板不良品達 6971.6 公噸，與回收體系拆解後排出之廢棄面板皆為掩埋處置，換算回收潛力成分則分別包括玻璃 6,721.3 公噸、塑膠 1,146.6 公噸、液晶 10.2 公噸、ITO 15 公噸，若能有效將台灣 LCD 面板回收處理後取得前述可資源化資源，除可大幅減低掩埋場地消耗外，亦可大幅減緩資源枯竭速度，有效減輕環境負擔。</p>
	砂石	<p>該研究乃針對台灣地區的砂石利用課題，以工業生態學中之物質流分析的理論基礎，從台灣地區砂石蘊藏量、可採量、供需量、進出口量、廢棄混凝土中含量、平均每人和單位土地面積砂石需求量、總砂石需求、歷年砂石使用密集度與使用效率等面向，一一探討與整理砂石的過去困境與未來經營之道。</p>

三、建立國家層級物質流資料庫方法

本章節說明 OECD 所建議國家層級物質流資料架構，能將國家的資源物九流動系統依各個行業部門以及需求或使用部門進行拆解，並以結構化的帳表做表示(OECD，2008b)。

(一) 直接及間接物質統計

1. 直接物質統計

為了計算物質在國內經濟圈中的投入量，必需將物品所含之各物質組成加以分配至使用該物質進行生產之行業部門或最終使用。對於自然資源的投入有兩種作法，包括開採前及開採後兩種方法：所謂的開採前是將所開採資源分配至資源開採業；而開採後則視其為加工產品之原物料，而被歸類至使用該原物料行業之使用。以上二種方法皆符合實體物質投入產出表(PIOT)之計算。

物品包含產品及原物料，產品(包含成品及半成品)的輸入不僅在使用用途上必需分類，在原物料の種類亦是如此。此分類計算方式簡單且清楚，如下表 3 所示：

表 3：經濟活動直接使用物質統計表

物質種類		經濟活動							
		生產各類貨品之部門				最終使用種類			
		PB1	PB2	PBn	家戶消費	公共消費	資本形成	出口
國內開採 (DRM)	DRM1								
	DRM2								
	...								
	DRMn								
物質輸入 (IRM)	IRM1								
	IRM2								
	...								
	IRMn								
成品及半成品輸入(IP)	IP1								
	IP2								
	...								
	IPn								
總物質及產品	DRM1+IRM1+IP1								
	DRM2+IRM2+IP2								
	...								
	DRMn+IRMn+IPn								

註：(1)DRM: Domestically extracted raw materials (2)IRM: Imported raw materials (3)IP: Imported semi-finished and finished products assigned to the main type of raw material

2. 間接物質(隱藏流)統計

隱藏流是指為生產產品所投入的物質，然而卻未成為產品的一部份，即未進入經濟圈中之量。舉例來說，一輛車之總重量並不代表其所投入原物料的重量，其亦應包括在製程中之損耗及能源投入。

在此介紹兩種最常用來評估隱藏流之方法，其分別為投入產出表法(IOT-approach)及係數法(coefficient approach)。

- (1) IOT-approach：第一步為評估國內產品中各種原物料含量；第二步為將物質含量之投入表與投入產出表(我國又稱產業關聯表)結合。此種方法適用於國內生產及輸出之經濟體。
- (2) coefficient approach：應用於非全國性的產品盤查。理論上，對於以輸出為主之國家而言，產品係數方法仍是遵循 IOT 架構，然而盤查所有物質投入產品之係數困難度太高，因此本法以簡化之係數盤查直接使用，並儘可能盤查間接之產品製造程序。

(二) 經濟物質流會計系統計算

物質流帳(material flow accounts, MFAcc)為物理流量計算，聯合國已於 2003 年推行環境經濟綜合帳整合系統 (System of Integrated Environmental and Economic Accounting, SEEA)，MFAcc 追蹤直接(即物質有實際進入經濟圈)、間接及未使用物質(即該物質並未進入經濟圈，但與物質開採及產品上游製程所造成的環保議題有關)。相較於 SEEA，經濟系統物質流會計(Economy-Wide Material Flow Accounting, EW-MFAcc)較能完整指出各種進出國家經濟系統的流動，然而 EW-MFAcc 非物質流帳表，而是數個相關指標組合的系統，所 OECD 改進其中一種物質流帳表—實體供給與使用表(PSUT)，使其統計項目更如 EW-MFAcc 具有系統完整性。下表 4 及表 5 分別為其使用表及供給表之盤查範例。

表 4：使用盤查表

		Socio-economic system						Natural environment NE	Total USE BY MATERIAL H+NE
		National socio-economic system				Rest of the world socio-economic system H2	Total socio-economic system H=H1+H2		
		Material transformation T	Useful material stocks S	Controlled landfills & other waste storage L	Total socio-economic system H2				
Natural resources	N1 - Fossil fuels	65.000	-	-	65.000	-	65.000	-	65.000
	N2 - Ferrous metal ores	5.000	-	-	5.000	-	5.000	-	5.000
	N3 - Non-Ferrous metal ores	25.000	-	-	25.000	-	25.000	-	25.000
	N4 - Industrial minerals	15.000	-	-	15.000	-	15.000	-	15.000
	N5 - Construction minerals	140.000	-	-	140.000	-	140.000	-	140.000
	N6, EW-MFA variant – Cultivated and Non Cultivated biomass	62.500	-	-	62.500	-	62.500	-	62.500
	N, EW-MFA variant – All material inputs	312.500	-	-	312.500	-	312.500	-	312.500
Input balancing items	B11 - Water as a balancing item (EW-MFA variant of N7)	15.000	-	-	15.000	-	15.000	-	15.000
	B12 - Oxygen for combustion and respiration(=E2 but for non-compliance with the residence principle)	325.000	-	-	325.000	-	325.000	-	325.000
	BI - All input-side balancing items(EW-MFA variant of E)	340.000	-	-	340.000	-	340.000	-	340.000
products	P1 - Animal and vegetable products	8.500	3.000	-	11.500	3.000	14.500	-	14.500
	P2 - Stone, gravel and building materials	12.000	139.000	-	151.000	12.000	163.000	-	163.000
	P3 - Energy commodities	47.000	1.000	-	48.000	36.000	84.000	-	84.000
	P4 - Metals, machinery, etc.	7.900	7.900	-	15.800	7.000	22.800	-	22.800
	P5 - Plastic and plastic products	3.000	2.500	-	5.500	2.000	7.500	-	7.500
	P6 - Wood, paper, etc.	1.500	3.000	-	4.500	4.000	8.500	-	8.500
	P7 - water, chemicals and other commodities	8.000	4.000	-	12.000	5.500	17.500	-	17.500
	P - All products	87.900	160.400	-	248.300	69.500	317.800	-	317.800
Residuals	W1 - GHGs, acidifying substances, ozone layer depleters	-	-	-	-	-	-	283.000	283.000
	W2 - Heavy metals to air	-	-	-	-	-	-	0.020	0.020
	W3 - Other toxic substances to air (POPs, PCBs, etc.)	-	-	-	-	-	-	0.030	0.030
	W5 - Nutrients to water	-	-	-	-	-	-	0.940	0.940
	W6 - Heavy metals to water	-	-	-	-	-	-	0.010	0.010
	W7 - Other water-polluting residuals (oil spills, solid waste etc.)	0.200	-	-	0.200	-	0.200	1.000	1.200
	W8 - Hazardous waste	1.000	-	10.500	11.500	0.200	11.700	0.500	12.200
	W9 - Construction and demolition waste	11.300	-	13.000	24.300	-	24.300	1.500	25.800
	W10 - Other non-hazardous waste	3.500	-	16.000	19.500	1.500	21.000	18.000	39.000
	W11, EW-MFA variant – Manure, fertilizer, sewage, residual water	-	-	-	-	-	-	18.500	18.500
	W, EW-MFA variant-All end-of-life-cycle outputs(excluding output balancing items BO)	16.000	-	39.500	55.500	1.700	57.200	323.500	380.700
	BO - Output balancing items: other gaseous residuals (vapor, etc.)(=W4 minus oxygen produced by cultivated plants)	-	-	-	-	-	-	174.000	174.000
TOTAL MATERIAL USE BY ACTIVITY (All materials = N+BI+P+W, EW-MFA variant+BO)		756.400	160.400	39.500	956.300	71.200	1027.500	497.500	1525.000
Unused Materials	U1, EW-MFA variant – Plants and animals	3.000	-	-	3.000	-	3.000	3.000	
	U2 – Mining overburden	55.000	-	-	55.000	-	55.000	55.000	
	U3 – Soil removal	40.000	-	-	40.000	-	40.000	40.000	
	U, EW-MFA variant – All unused	98.000	-	-	98.000	-	98.000	98.000	

表 5：供給盤查表

		Socio-economic system						Natural environment	Total USE BY MATERIAL
		National socio-economic system				Rest of the world socio-economic system	Total socio-economic system		
		Material transformation	Useful material stocks	Controlled landfills & other waste storage	Total socio-economic system				
T	S	L	H2	H2	H=H1+H2	NE	H+NE		
Natural resources	N1 - Fossil fuels	-	-	-	-	-	-	65.000	65.000
	N2 - Ferrous metal ores	-	-	-	-	-	-	5.000	5.000
	N3 - Non-Ferrous metal ores	-	-	-	-	-	-	25.000	25.000
	N4 - Industrial minerals	-	-	-	-	-	-	15.000	15.000
	N5 - Construction minerals	-	-	-	-	-	-	140.000	140.000
	N6, EW-MFA variant – Cultivated and Non Cultivated biomass	-	-	-	-	-	-	62.500	62.500
	N, EW-MFA variant – All material inputs	-	-	-	-	-	-	312.500	312.500
Input balancing items	B11 - Water as a balancing item (EW-MFA variant of N7)	-	-	-	-	-	-	15.000	15.000
	B12 - Oxygen for combustion and respiration(=E2 but for non-compliance with the residence principle)	-	-	-	-	-	-	325.000	325.000
	B1 - All input-side balancing items(EW-MFA variant of E)	-	-	-	-	-	-	340.000	340.000
products	P1 - Animal and vegetable products	6.000	-	-	6.000	8.500	14.500	-	14.500
	P2 - Stone, gravel and building materials	151.000	-	-	151.000	12.000	163.000	-	163.000
	P3 - Energy commodities	34.000	-	-	34.000	50.000	84.000	-	84.000
	P4 - Metals, machinery, etc.	12.900	-	-	12.900	9.900	22.800	-	22.800
	P5 - Plastic and plastic products	4.000	-	-	4.000	3.500	7.500	-	7.500
	P6 - Wood, paper, etc.	7.000	-	-	7.000	1.500	8.500	-	8.500
	P7 - water, chemicals and other commodities	9.500	-	-	9.500	8.000	17.500	-	17.500
	P - All products	224.400	-	-	224.400	93.400	317.800	-	317.800
Residuals	W1 - GHGs, acidifying substances, ozone layer depleters	282.000	-	1.000	283.000	-	283.000	-	283.000
	W2 - Heavy metals to air	0.020	-	-	0.020	-	0.020	-	.0020
	W3 - Other toxic substances to air (POPs, PCBs, etc.)	0.030	-	-	0.030	-	0.030	-	0.030
	W5 - Nutrients to water	0.940	-	-	0.940	-	0.940	-	0.940
	W6 - Heavy metals to water	0.010	-	-	0.010	-	0.010	-	0.010
	W7 - Other water-polluting residuals (oil spills, solid waste etc.)	1.000	-	0.100	1.100	-	1.100	0.100	1.200
	W8 - Hazardous waste	11.200	0.700	-	11.900	0.300	12.200	-	12.200
	W9 - Construction and demolition waste	13.000	12.800	-	25.800	-	25.800	-	25.800
	W10 - Other non-hazardous waste	35.300	3.700	-	39.000	-	39.000	-	39.000
	W11, EW-MFA variant – Manure, fertilizer, sewage, residual water	18.500	-	-	18.500	-	18.500	-	18.500
	W, EW-MFA variant-All end-of-life-cycle outputs(excluding output balancing items BO)	362.000	17.200	1.100	380.300	0.300	380.600	0.100	380.700
BO - Output balancing items: other gaseous residuals (vapor, etc.)(=W4 minus oxygen produced by cultivated plants)	170.000	1.000	3.000	174.000	-	174.000	-	174.000	
TOTAL MATERIAL SUPPLY BY ACTIVITY (All materials = N+Bl+P+W, EW-MFA variant+BO)		756.400	18.200	4.100	778.700	93.700	872.400	652.600	1525.000
Balance (material accumulation by activity)		-	142.200	35.400	177.600	-22.500	155.100	-155.100	-
Unused Materials	U1, EW-MFA variant – Plants and animals	3.000	-	-	3.000	-	3.000	3.000	
	U2 – Mining overburden	55.000	-	-	55.000	-	55.000	55.000	
	U3 – Soil removal	40.000	-	-	40.000	-	40.000	40.000	
	U, EW-MFA variant – All unused	98.000	-	-	98.000	-	98.000	98.000	

四、國家層級物質流指標

物質及資源使用在盤查後，需藉由物質流指標(Material flow indicators)清楚反應物質耗用情形。物質流指標定義為一量化評估的方法，透過統計資料量化的方式描述物質從製造、使用到廢棄等不同階段的流動情形與使用特性。在不同指標的搭配下，能進一步理解系統中物質使用的經濟效率與環境效益，可勾勒出整體工業生態系統的樣貌。其主要功能有以下四種：

1. 了解經濟體或人類活動所使用的資源程度與特性
2. 顯示不同國家在物質使用上所影響的環境層面有哪些
3. 了解貿易與全球化對於國內外的物質流動有何影響
4. 顯示環境與經濟政策對於物質使用的影響

以國家層級而言，擬訂特定物質管理策略之優先順序，會受以下幾種原因影響：造成特定環境衝擊之物質、高度仰賴進口或國內存量低之物質、原料物質價格、對特定產業具重要性之物質、特定物質之回收潛力、特定物質之廢棄物處理能力等。

應用於資源與物質管理之物質流指標通常可分為以下兩種：

1. 資源使用強度指標

使用強度指標應用於自然資源管理上，通常計算特定期間內，該種自然資源使用消耗量與其可供利用量之比值，可幫助我們了解該資源使用之永續程度。資源使用可分為可再生與不可再生，可再生資源如森林、水與漁獲等，通常計算該資源之開採量與其資源存貨之可再生能力之比值；而不可再生資源如礦產、能源礦物等，則計算資源開採量與在現今技術水準下該資源的蘊藏量，如自然資源存量的生命指標(life index of the natural resource stock)，為計算年底之資源蘊藏量與該年度之資源開採量之比例。使用強度指標可以探討資源與物質存量短缺問題、資源市場價格變動與貿易型態之改變。

2. 物質與廢棄物管理效率指標

物質與廢棄物管理效率指標主要為解決經濟體中資源浪費與廢棄物增加之情形。許多可回收再利用之物質因未經妥善處理，直接以廢棄物形式離開物質循環鏈，造成廢棄物量日漸增加，資源使用效率降低的情形。利用物質管理效率指標偵測國家廢棄物回收再利用效率、物質使用效率與生產力等，在3R(減量、再利用、回收)政策與循環型社會相關法規制定上均扮演重要角色。

Hashimoto 與 Moriguchi 於 2004 年提出應用於描述社會物質代謝循環之六項物質流指標。循環社會之物質流動，可分為三種循環類別：二手產品再利用、副產品回收(以物質或熱能形式)、以及二手產品回收(以物質或熱能形式)。利用這三種物質循環架構，可以計算出六項物質流指標：

- (1) 物質使用時間(Material Use Time, MUT)： $MUT = \text{產品存貨總量} / \text{二手產品回收與丟棄總量}$ ；或是， $MUT = \text{產品存貨總量} / \text{新產品或零件產出總量}$
- (2) 物質使用效率(Material Use Efficiency, MUE)： $MUE = \text{物質使用總量} / \text{物質消費總量}$
- (3) 回收二手產品使用率(Use Rate of Recovered Used Products, URRUP)： $URRUP = \text{二手產品回收總量} / \text{物質消費總量}$
- (4) 二手產品回收率(Recovery Rate of Used Products, RRUP)： $RRUP = \text{二手產品回收總量} / \text{二手產品回收與丟棄總量}$
- (5) 直接物質投入(Direct Material Input, DMI)：以 EW-MFA 方法計算，用以監測物質消費量以促進物質循環
- (6) 國內程序產出(Domestic Processed Output, DPO)：以 EW-MFA 方法計算，用以監測環境負荷量以促進物質循環

利用物質流分析工具，可以進行物質流量指標之計算，再根據分析物質與資源之特性，擬訂相關物質管理策略，並可利用相關指標監測物質管理之狀況與趨勢，達到物質永續管理之目標。除以上六項指標外，亦可利用 DMI 或 TMR 指標，計算國內次級原料物質(回收再利用之原料物質)投入占總物質投入之比例，藉此了解國家物質循環程度。此外，亦可利用物質投入之使用效率或經濟效率來衡量國家之物質循環管理效率，如 UDE/TMI 或 UDE/GDP。圖 9 為國家層級物質流主要指標類。

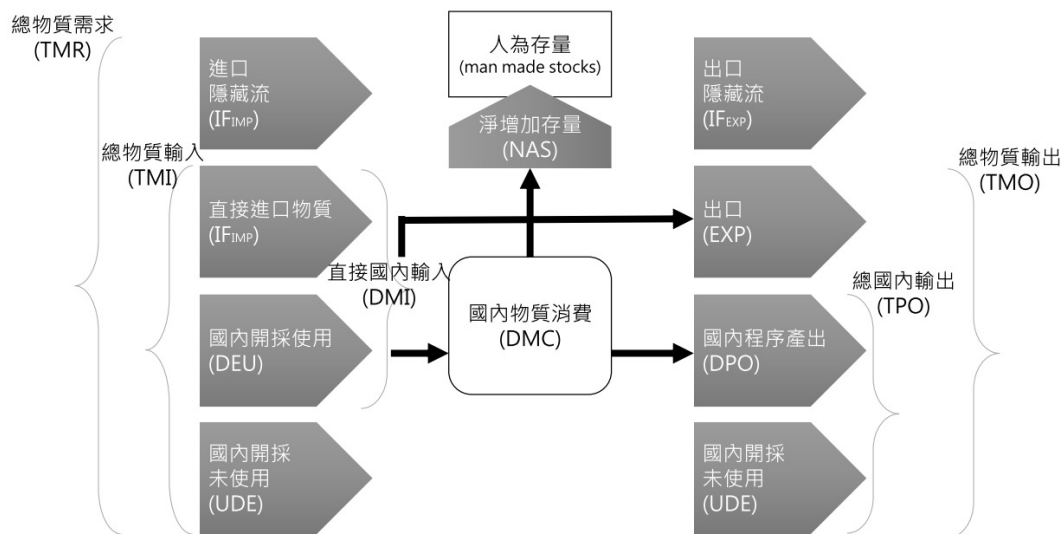


圖 9：物質流指標主要類別及關係圖 (OECD, 2008a)

物質流指標必須反應最佳現有知識(best knowledge available)，並內嵌在一個更大的資訊系統中(例如:資料庫、物質帳、監測系統等)，以利物質流分析人員處理數據，並作為溝通工具。物質流指標需具備簡明易懂的特性，使專家便於向記者、企業經理人、政府決策者、非政府組織等，非受過專業物質流訓練的對象進行溝通。透過指標的呈現，能清楚反應資源耗用的情況並加以改善，物質流指標能解釋以下六種問題：

1. 人類活動或整體經濟圈中的物質需求為何：哪些物質在哪種用途中的使用量有多少？非再生、可再生物質所占比例為何？隨著時間呈現何種改變？資源使用量與自然資源蘊藏量之間的關係為何？
2. 人類活動或整體經濟圈對於外在物質輸入與外在市場的依賴程度為何：本國對於外國資源的依賴程度為何？物質供給安全性為何？隨著時間呈現何種改變？物質跨國或跨洲轉移的情況如何？物質流動與生產外包、國際貿易、原料價格間的關係為何？
3. 物質的使用效率為何：是否過度浪費寶貴資源？一個國家對於資源使用、環境壓力與經濟成長之間是否呈現脫鉤的情形？在經濟、產業層面上物質的生產力為何？
4. 從哪些面向可以提升物質效率：改善物質與資源管理的契機在哪裡？物質使用與勞工、貨幣生產力的關係為何？

5. 物質使用對於環境造成的主要壓力與風險為何：在物質的生命週期中(開採、處理、使用、廢棄)，哪一個階段對環境的衝擊較大？如何隨著時間而變化？一個國家的關鍵物質為何？
6. 國際間的物質流動對於環境的影響為何：物質對環境衝擊之變化趨勢為何？是否在不同的國家或區域間轉移？

(一) 物質流指標種類

物質流指標用以描述物質在經濟圈中由原料開採至最終廢棄等各階段之使用情形。在物質平衡的架構下，主要的指標包括輸入指標(input Indicators)、消費指標(consumption indicator)、平衡指標(balance indicator)、輸出指標(output indicator)、效率指標(Efficiency indicators)。各指標間之資訊具關聯性且有互補作用。指標彼此間結合後可以得到欲探討物質分析之全貌，並可進一步與經濟指標結合而得出其利用效率。以下簡介這些指標：

1. 輸入指標(input Indicators)

輸入指標主要用來描述用以維持經濟活動的物質輸入情形，這些經濟活動包含國內的經濟活動與出口。此指標與一個國家或地區的生產模式有著高度相關性，如國際貿易、自然資源使用量與科技應用都會影響物質輸入。最常使用的輸入指標有下列三種：

- (1) 國內開採並使用(Domestic extraction used, DEU)：DEU 衡量物質由自然環境進入經濟系統中做為進一步加工或直接消費。通常這些物質會成為產品或產品的一部份且被賦予經濟價值。
- (2) 直接物質輸入(Direct Material Input, DMI)：DMI 用以衡量直接輸入經濟體進行加工或被消費掉的物質，包含任何具有經濟價值而被用於生產的物品。直接物質輸入量等於國內開採並使用(DEU)加上直接進口的物質(IMP)。
- (3) 總物質需求(Total Material Requirement, TMR)：TMR 除了涵蓋直接物質輸入(DMI)之外，亦包括在開採階段未進入經濟系統中之物質及由其它國家輸入之間接物質流(indirect material flows)。

2. 消費指標(consumption indicator)

消費指標用以描述經濟活動中物質消費的情況，通常與消費模式高度相關且隨著時間穩定變化。消費指標與輸入指標最大的不同處在於消費指標與經濟具有高度之關聯性。最常用的消費指標包含以下兩類：

- (1) 國內物質消費(Domestic Material Consumption, DMC)：DMC 為衡量直接被經濟體所消耗的總物質量。國內物質消費(DMC)為國內物質輸入(DMI)扣掉出口(EXP)的部分。
- (2) 總物質消費(Total Material Consumption, TMC)：TMC 衡量國家生產與消費相關活動之總物質使用。衡量用以支撐國內生產與消費活動的物質使用情況，為總物質需求(TMR)扣掉出口(EXP)再扣掉出口間接流。

3. 平衡指標(balance indicator)

用以反應經濟體中的物質累積量。為每年物質的增加量扣除物質的移除量為淨存貨增加，另外一種以國際貿易中的進出口差距來表示的為物質交易平衡。平衡指標中最常用的為淨存貨增加(Net Additions to Stock, NAS)，NAS 的算法為直接物質輸入(DMI)扣掉出口(EXP)再扣掉等國內製程輸出(Domestic Processed Output, DPO)。國內程序輸出(DPO)包含國內消費所產生的污染物與廢棄物，以營建業為例，NAS 為新增建築物的物質使用量扣掉毀壞建築物的廢棄物量。

4. 輸出指標(output indicator)

用以描述一個國家與生產、消費行為相關的物質輸出情形，包含出口、污染物排放、廢棄物等輸出。最常使用的輸出指標有下列二種：

- (1) 國內程序輸出(Domestic Processed output, DPO)：DPO 衡量由環境開採或輸入之物質在經濟系統使用後回到自然環境中之總重。DPO 流量會出現在加工、製造、使用及最終處置階段，後空氣、水體、土地等排放方式輸出物質。
- (2) 總國內輸出(Total Domestic Output, TDO)：用以表示因為經濟活動而輸出至環境中的總物質量，包含國內製程輸出(DPO)與國內開採未使用的物質(UDE)。

5. 效率指標(Efficiency indicators)

效率指標由相關之經濟輸出指標(如 GDP 或附加價值等)或產業部門之物質流

指標所建構而成。經由運算結果可得經濟活動中各部門之物質生產效率或強度(intensity)。

傳統的生產力包含勞工生產力與資本生產力等，而資源生產力則可衡量一個經濟體、產業或企業對於自然資源的使用效率，可讓整個社會的生產力指標更加完善。在國家層面上，可應用在二個面向：(一)監測物質使用與經濟成長是否呈現相對脫鉤的趨勢、(二)比較不同國家的資源生產力做為後續研究的基礎。以下為三種常見資源生產力指標：

1. 國內物質生產力(GDP/DMC)：以每單位國內物質消費量(DMC)所產生的國內生產毛額(GDP)來衡量物質的生產力。
2. 總物質生產力(GDP/TMR)：以每單位總物質需求(TMR)所產生的國內生產毛額(GDP)來衡量整體輸入物質的生產力。雖然以 TMR 來計算資源生產力是最能夠涵蓋整體環境面的做法，但 TMR 所涵蓋的國內開採未使用物質(UDE)與國外進口隱藏流(IF_{imp})的資訊較不易取得，因而限制了總物質生產力的使用。
3. 直接物質生產力(GDP/DMI)：以每單位直接物質輸入(DMI)所產出的國內生產毛額(GDP)來衡量直接物質輸入的效率。

(二) 物質流指標之應用

物質流指標之定義為利用量化方式來描述物質流布與自然資源使用之統計資訊。物質流指標可將經濟體中的物質流布以實體之概念呈現，進一步量化經濟活動與環境的交互關係。根據圖 10 可知，不同分析範疇與層級的物質流分析方法，可衍生出不同類別的物質流指標，包括應用於國家、產業部門或企業層級，分析從元素(substances)、物質(materials)、物質系統(material systems)到產品(products)層級的流布情形。依分析方法與使用目的不同，指標可分為兩大類：

1. 一般性指標(Generic indicators)：通常指利用經濟系統物質流會計(EW-MFA)計算出的國家物質流指標，通常一般性指標的集合程度(level of aggregate)是較高的，意即其單一指標通常涵蓋多種物質與流動類別。一般性指標主要作用是作為物質使用狀況的溝通，深入分析與政策擬定之應用價值較低。
2. 特定議題指標(Issue-specific indicators)：指可以反映特定議題的物質流指標，通常由更為細緻的物質流分析方法計算而得，如物質系統分析、元素物質流分析、生命週期評估、延伸型投入產出分析或是全面性的國家物質流會計等等。不同於一

一般性指標，特定議題指標的細節程度(level of detail)較高，可以針對特定範疇與層級進行分析，如：(1)從特定經濟活動、產業、公司、產品群到特定產品的生命週期分析、(2)特定物質與元素物質與相關流布分析、(3)以上兩面向的範疇之組合分析。

物質流指標建立的主要目的，是希望提供物質流分析的操作者一種溝通工具，讓專家方便向記者、企業經理人、政府決策者、非政府組織等非受過專業物質流訓練的對象進行溝通，而根據溝通對象的不同，物質流指標必須對於原始資料進行不同程度的簡化與取捨，以促進重要議題的溝通與交流。由圖 10 可知，當溝通對象為社會大眾與高階決策者時，物質流指標的作用在於提升其認知，並作為溝通資訊之輔助，所使用的指標偏向單一數值的總合或加權指數，或是涵蓋範圍較廣的指標；而當使用對象為政策分析者、研究與統計人員時，物質流指標則被用以進行物質流布相關的深入分析與研究。

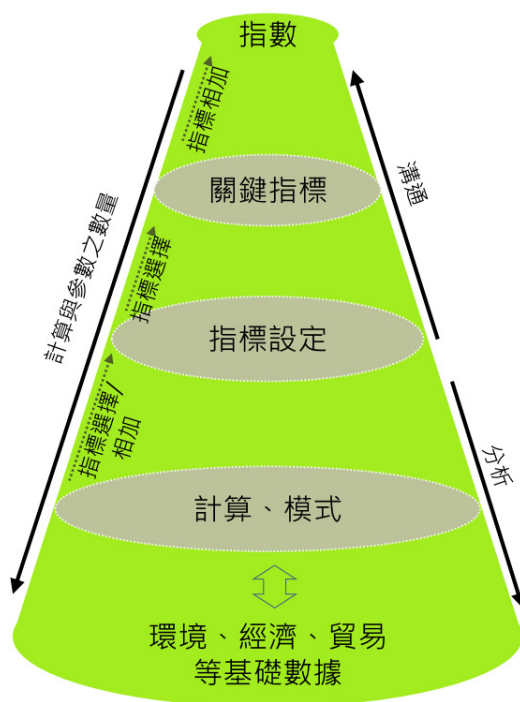


圖 10：物質流指標應用層級圖 (OECD, 2008a)

1. 監測國家、產業、與企業的物质基礎

描述特定系統內物質基礎的物質流指標，需要能反映物質使用的程度與特性，包括對物質投入、需求、與消費行為的描述。主要使用的物質流指標有直接物質投入(DMI)、總物質需求(TMR)、國內物質消費(DMC)與總物質消費(TMC)，可透過

EW-MFA 的方法計算而得。由於投入等於產出的質量守恆概念，通常物質投入與消費的指標可反映物質最終形成污染或廢棄物產出的量，間接顯示物質使用對環境的負荷，可提供全面性政策方向與目標擬定的基礎資訊。由於 EW-MFA 計算出得到的物質流指標是高度集合的單一指標，無法顯示出特定的環境衝擊，因此為增進 EW-MFA 指標的資訊價值，通常會利用物質類別或是產業類別來區分其物質流量的差異，增加指標在物質策略擬定上的應用價值。

物質類別分類方法會根據分析目的的差異，而有不同的分類方法，常用的分類方法有基礎物質群組、自然資源種類、物質使用方式以及環境衝擊種類等。

- (1) 基礎物質群組：根據物質特性將物質分類，分為 5 到 12 類物質群組，如金屬類、非金屬礦物、營建物質、化石燃料、生物質等等，可幫助了解物質投入或消費之組成結構。
- (2) 自然資源種類：物質流指標可以根據物質之自然特性分類，如該物質為可再生或不可再生物質，或是為生物或非生物資源。物質自然特性可幫助我們了解物質使用之可再生性，以平衡物質使用之永續性。
- (3) 物質使用方式：利用物質使用方式將物質分類，可以了解物質使用的效率。如未使用國內開採指標(used domestic extraction, UDE)與使用之國內開採物質指標(domestic extraction used, DEU)分別占 TMR 之比例，可了解多少物質的開採並未創造其應有的經濟價值，降低 UDE 可以提升物質生產的經濟效率。
- (4) 環境衝擊種類：物質可根據其使用所造成的環境負荷分類，如造成毒性污染的物质、造成特定自然資源問題的物質(如水、空氣與土壤污染)、以及因需求高，其大量開採會破壞生態環境的物質。

以國家層級而言，各產業之間對不同資源的使用量，以及不同污染物與廢棄物的產出量都有很大的差異，為了解各產業的物質流布變動情形，以及相關環境負荷是否有在不同產業間轉移的現象，利用實體投入產出表(PIOTs)或延伸型經濟系統物質流會計(Extended EW-MFA)等方法，可將經濟體中的物質流動根據不同產業部門分別表示，並可透過產業關聯概念，了解各產業之物質投入與廢棄物產出是以直接(部門本身直接投入或排放)或間接(其上下游部門之投入與排放)的方式進行。

2. 監測國家經濟與產業系統的物質生產力

生產力泛指國家或產業投入之單位人力、資源、物質等所產出的經濟價值。物質生產力應用於各層級分析，可以反應出該經濟體、產業或生產鏈之物質投入密集度、

物質使用生態效率、技術進步狀況以及經濟成長與物質使用之間的脫鉤現象。根據不同分析目的，物質生產力主要應用於以下三種定義：

- (1) 經濟—實體物質效率：單位投入物質重量所產出之經濟價值，其趨勢分析可了解該經濟體之經濟增加值與物質消費量之脫鉤程度。脫鉤現象又可分「絕對脫鉤」與「相對脫鉤」，絕對脫鉤代表物質使用量下降且經濟成長；相對脫鉤則表示物質使用與經濟價值均上升，但物質使用上升率低於經濟成長率，使物質生產力仍舊上升。觀察物質使用與經濟價值之絕對數值趨勢，可以解構脫鉤現象之實際狀況。
- (2) 實體物質或技術效率：將投入與產出均以物質重量單位表示，即單位原料投入量所得之產品產出量，如單位鐵礦煉製投入量所得之生鐵產出量，當此指標值越高時，顯示該經濟體之物質生產效率或是生產技術越佳。
- (3) 經濟效率：投入與產出均以經濟單位表示，即單位金額投入之產出經濟價值，可顯示投入成本的改善。

透過物質生產力之計算與分析，衡量其物質投入與使用的效率，在各層級的物質管理中均為重要的指標。在國家層級中，透過 EW-MFA 的物質流指標計算，以及國家之經濟統計資料 GDP、附加價值等等，以單位物質投入或消費之經濟價值為主，顯示國家物質使用效率，然有時也會以污染物或廢棄物產出指標(如 DPO、TDO 等)，計算單位廢棄物產出之經濟輸出價值，以了解國家之經濟表現與其物質消耗量之關聯。國家層級分析亦可結合實體投入產出表、延伸型經濟系統物質流會計等分析工具，了解各產業部門之物質生產力差異與各產業物質之直接與間接投入比例。常用的物質生產力指標如表 6 所示：

表 6：物質生產力指標比較整理表

	DMI RMI	TMR(包括隱藏流)	DMC RMC	TMC(包括隱藏流)
GDP	直接物質生產力 (GDP/DMI) 直接原料生產力 (GDP/RMI)	總物質生產力 (GDP/TMR)	國內物質生產力 (GDP/DMC) 國內原料生產力 (GDP/RMC)	國內總物質生產力 (GDP/TMC)
DPO(廢棄物)	DPO/DMI	DPO/TMR	DPO/DMC	DPO/TMC
TDO(廢棄物、 未使用資源)		TDO/TMR	TDO/DMC TDO/RMC	TDO/TMC

物質生產力分析在產業之產品層級中也被廣泛利用。在衡量產品的物質生產力時，主要應用生命週期評估的概念，計算該產品或服務於生命週期過程中之能資源投入，通常以單位服務之物質投入(Material Input per Service Unit, MIPS)表示。MIPS 由 Wuppertal Institute 所提出，以物質密集度分析方法(material intensity analysis)計算單位產品或服務的產出，在其生命週期過程中造成的環境負荷。其計算方式為：

$$MIPS = \frac{MI}{S}$$

其中 S 代表服務單位，MI 代表提供該服務或產品之生命週期過程中，所需投入之能資源耗用，包括生物質原料、非生物質原料、水、空氣與土石，以量化方式顯示服務或產品背後的生態包袱(ecological rucksacks)。由於 MIPS 將各物質之不同使用方式以等權重來表示，無法顯示各物質在該項產品或服務背後參與的不同製程過程造成之不同環境衝擊，近年來 MIPS 也結合環境衝擊評估方法，作為更完整的環境負荷分析(Lettenmeier 等，2009)。其他常用的企業層級的指標還有物質勞動生產力，即計算每勞動人力之物質產出量，作為企業物質管理狀況之衡量指標。

綜觀前兩點描述之物質流指標兩大應用層面，分別利用物質流方法計算物質之絕對數值與相對數值，追蹤經濟系統之物質使用與流動狀況。表 7 分別比較兩種物質流指標表示方式之應用與表達意義。

表 7：絕對與相對數值指標應用比較表

指標種類	絕對數值指標	相對數值指標
指標種類	描述物質生命週期過程各階段之量化資料 輸入指標 輸出指標 消費指標 平衡指標	描述單位物質投入與消費(或產出)與相關經濟價值之比例關係 物質生產力 脫鈎指標 污染物排放強度
資料來源	經濟體總指標：EW-MFA 產業別指標：PIOT、EIOA	經濟體總指標：EW-MFA 產業別指標：PIOT、EIOA GDP 或產值：國家、產業統計資料
應用層面	經濟體物質流量基礎資料 間接反映物質使用之環境負荷 追蹤能資源耗用之關鍵趨勢與變化 應用於整體性政策方向制訂	了解經濟體之物質使用效率與技術進步現象 解構經濟成長與物質使用之間的脫鈎現象 補強勞動生產力與人均生產力等指標之不足 促進廢棄物減量、物質循環再利用及永續物質管理之概念 協助環境、經濟與產業整合政策方向之制訂
應用限制	集合程度過高，須以各物質種類或產業分析方法加以解構	需同時顯示物質流量與經濟價值之絕對數值，以了解生產力指標變化之因素，並追求絕對脫鈎

3. 監測貿易與全球化對物質流動的影響

物質流指標除了衡量經濟體內之物質流布，亦可了解經濟體在對外之貿易活動與全球化效應下物質流動產生的變化。隨著全球化的趨勢，各國之間的進出口貿易日漸頻繁，從原物料、半成品、成品到廢棄物物質於經濟體間之流布現象也日益顯著。以經濟體本身而言，物質進出口不平衡可能影響物質使用安全，造成能資源耗竭問題，而經濟體之間的物質流動也牽涉到物質使用方與環境負荷承受方不同之環境正義問題。以進出口物質流與隱藏流指標，可以協助我們探討物質生產消費過程中產生之環境衝擊，以及環境衝擊於各經濟體間轉移之情形。總括而言，物質流指標應用於貿易問題上，有以下六個主要層面：

- (1) 量化經濟體對外來資源的依賴程度及其趨勢，包括探討資源安全(Resources Security)與外包生產(Outsourcing)等議題。
- (2) 衡量物質進出口之平衡度，包括考量間接進出口之物質隱藏流。
- (3) 了解物質與資源流布造成之環境負荷，於各經濟體或區域之間分布與轉移之情形。
- (4) 追蹤包含進出口產品，隨著貿易行為流動的環境有害物質流布情形。
- (5) 指出有害物質或廢棄物在國際運輸上可能造成之風險。
- (6) 追蹤全球與地區層級中可循環物質之進出口貿易情形。

國際貿易問題相關之物質流指標主要計算來源有三種：經濟體物質流帳(EW-MFA)、投入產出分析與元素流分析(Substance Flow Analysis)。經濟體之間的物質流指標仍以 EW-MFA 為主要計算方式，並延伸至將物質進出口根據不同來源國家或目的國家做區分。此外，國家之國際貿易狀況亦可由投入產出方法分析，如根據我國主計處公布之產業關聯表，我國 2006 年之商品與服務總供給中，貿易進口輸入總值占 20.1%；以需求面而言，輸出總值則占總需求之 23.0%；在最終需求部分，我國產業以電子零組件為需求最大宗，然而 97.5%是輸出以供他國之需求而生產。根據區域間之實體投入產出分析可了解全球化與國際貿易造成之物質流動情形，此外搭配廢棄物跨界運輸相關資料，亦可了解廢棄有毒物質與可回收物質之區域間流動情形。而欲進一步了解有害物質跨界移動問題，須利用元素流分析方法加以計算與分析，了解特定物質之詳細流布情形，以求得確實之特定物質流布指標。根據應用於國際貿易問題之物質流指標，可分為三大類別：

- (1) 國家對進口物質與國內生產開採物質之依賴比例，包括考量隱藏流(indirect flow, IF)之狀況，可以幫助衡量國家物質使用安全狀況。對進口物質依賴度越高的國家，越容易因國際物質短缺而造成其物質價格與供應狀態之變動。國內物質需

求指標以 DMI 與 TMR 為主，消費指標則以 DMC 與 TMC 為主，其計算公式分別如下：

a. $DMI=IMP+DEU$

b. $DMC=IMP+DEU-EXP$

c. $TMR=(IMP+IF_{imp})+(DEU+UDE)$

d. $TMC=(IMP+IF_{imp})+(DEU+UDE)-(EXP+IF_{exp})$

利用上述指標，可計算國家對進口物質與國內開採物質之依賴比例，計算方法如表 8 所示：

表 8：國家物質投入來源指標整理表

指標類別	進口物質依賴比例		國內開採物質依賴比例	
	IMP	IF_{imp}	DEU	UDE
DMI	IMP/DMI	-	DEU/DMI	-
DMC	IMP/DMC	-	DEU/DMC	-
TMR	$(IMP+IF_{imp})/TMR$		$(DEU+UDE)/TMR$	
TMC	$(IMP+IF_{imp})/TMC$		$(DEU+UDE)/TMC$	

這些物質流指標可以以集合方式(全國各類物質量加總)表示，或是呈現單一物質或化學物質之依賴比例，物質流指標亦可與相關貿易統計數值同時呈現。

(1) 以物質強度指標呈現國家單位進出口價值之物質量，意即：

a. 進(出)口物質流量/進(出)口物質價值

b. 進(出)口原料物質流量/進(出)口原料物質價值

物質強度可以呈現各區域之技術與工業化程度，以及自然資源蘊含程度之差異。通常在高度工業化國家，其進口物質強度高，而出口物質強度低，代表其主要進口低價值之原料物質，於國內進行製造加工之後，外銷高附加價值之成品。而自然資源蘊含量高之國家則大量出口相對較低附加價值之原料物質，造成其出口物質強度低。不同進出口物質強度顯示地區間之物質使用現象差異，可作為經濟體之經濟發展、技術程度指標，也可用以了解各國之國際分工(International Division of Labor)優勢，使國際間之能資源使用與生產達到最佳效益。

(2) 物質貿易平衡指標(Physical Trade Balance, PTB)為物質進口量與出口量之差值，可幫助我們了解該國進口物質使用量之趨勢，進出口平衡指標亦可納入間接進出口之計算，了解經濟體使用進口物質所造成之間接環境負荷。利用進出口平

衡指標可以進行下列議題的探討：

- a. 國家之總物質平衡指標趨勢，可以顯示該國對於進口物質之國內使用量趨勢，若搭配國內開採量(DEU)，PTB 值越高，代表該國之外包生產程度越高。此外若將間接進出口納入計算，則可顯示該國之物質使用，所造成國外環境負荷程度。
- b. 國家可進一步利用各物質之平衡指標，追蹤特定物質之進出口現象，例如了解稀有原料物質之進口依賴程度，或是了解含有有害物質之原料或成品，其造成之環境衝擊對國外(進出口國家)造成的影響。若要追蹤特定有害化學物質，則可利用元素流分析方法，對特定有害物質(如重金屬)進行分析。

除物質之進出口資訊之外，若有廢棄物跨界運輸以及運輸方式之相關統計資料，則可進一步計算有害廢棄物以及可回收再利用物質之流動，可計算這些物質造成之環境衝擊於各國間轉移之情形。

4. 監測特定資源與物質的管理狀況

利用物質流方法分析總體及特定物質之流布資訊，可提供物質管理相關策略制定中不可或缺的基礎資料。由圖 11 可知，物質流量越大之物質通常單位環境衝擊較小，相對而言，單位環境衝擊高之危害性物質其於經濟體中之流量較低。利用物質流分析工具建立各物質基礎流量資料之後，可根據不同物質特性與指標類別研擬相關管制策略：流量越高之物質(如水與砂石)，或是集合程度越高的物質流指標(如總體物質流指標或物質群組流量指標等)通常應用於廣義之永續資源管理，如日本循環型社會基本法、3R(Reduce、Reuse、Recycle)政策等；流量與環境衝擊潛勢均介於中層之物質，如木材、化石燃料、紙、鋼鐵、食鹽、鋁、PVC 塑膠等，其物質流資訊可提供資源使用效率分析、廢棄物資源化與污染減量等策略制訂；物質流量低但環境衝擊潛勢高之物質如重金屬、殺蟲劑、化學溶劑等危害性物質，其物質流量指標則可協助化學物質管制策略之研擬。

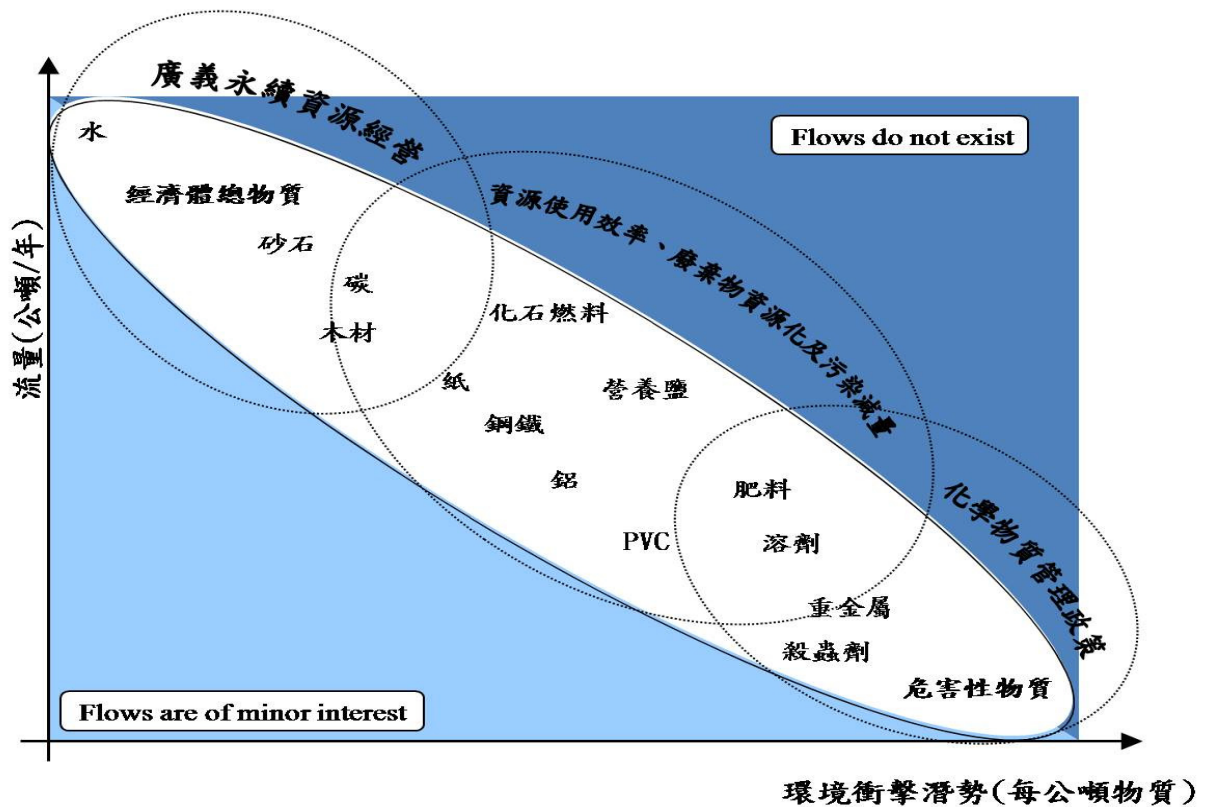


圖 11：物質流量、環境衝擊與相關政策應用架構圖 (Steurer, 1996)

五、資料庫來源

目前台灣對於物質流管理資料庫尚未整合完成，資料常分散於各單位。而部份資料礙於統計數據不完整，亦無法進行更深入分析。

詳細的物質流量資料通常可從資料庫或是採用直接或非直接的現地調查得到，區域、國家或是國際層級的統計局、產業工會以及消費者組織皆可作為特定資料的蒐集來源，部分資料也可能由產品的生產與銷售統計資料得到，至於廢棄物、污染物等排放至大氣、土壤、水體等資料可從環保署等相關單位取得。國內物質流相關資料庫如下表 9 所示。除此之外，科學期刊以及相關書籍也可作為資料蒐集來源。有些物質流量資料彙整來自假設或者不同系統間交互使用，在這種情況下，不同系統之間資料的轉換與使用應該要特別注意其正確性及合理性。

表 9：國內物質流相關資料庫

分類	項目	資料來源
國內生產	能源物質	經濟部能源局能源平衡表 經濟部礦務局礦業統計
	工業礦物	經濟部礦務局礦業統計
	金屬	經濟部礦務局礦業統計
	建築物質	經濟部礦務局礦業統計 營建署 92 年台閩地區營建統計年報(填土量)
	農林漁牧產品	農委會農業統計要覽
進口	能源物質	經濟部能源局能源平衡表
	工業礦物	財政部關務署統計資料庫查詢網站
	金屬	財政部關務署統計資料庫查詢網站
	建築物質	財政部關務署統計資料庫查詢網站
	農林漁牧產品	農委會農業統計要覽
	半成品	財政部關務署統計資料庫查詢網站
出口	能源物質	經濟部能源局能源平衡表
	工業礦物	財政部關務署統計資料庫查詢網站
	金屬	財政部關務署統計資料庫查詢網站
	建築物質	財政部關務署統計資料庫查詢網站
	農林漁牧產品	農委會農業統計要覽
	半成品	財政部關務署統計資料庫查詢網站
國內污染輸出	空氣污染物	環保署環保統計網站 TEDS 7.0
	水污染	環保署環境品質資料倉儲系統
	重金屬/戴奧辛	環保署重金屬戴奧辛排放清冊
	固體廢棄物	環保署環境品質資料倉儲系統
	溫室氣體	工研院溫室氣體排放清冊建置與更新
	農業用量	農委會動植物防疫檢疫局網站
	化學肥料用量	農委會農業統計網站
	未使用之國內開採	營建署 92 年台閩地區營建統計年報(剩餘土石方量)
隱藏流	間接物質流	依原有算式進行估算
	GDP	中華民國統計資訊網
其他	人口	內政部統計年報
	行業別	ITIS 產銷存資料庫
	糧食平衡表	農委會
	綠色國民所得帳	行政院主計總處
	經濟統計資料(AREMOS 資料庫)	財團法人經濟資訊推廣中心

資料來源：台大永續資源管理中心整理資訊與(李靜宜，2005)

六、政策應用

物質流評估結果的應用領域廣泛，當物質流分析完成時，其結果應提供，與相關人員溝通。管理者可以利用物質流分析的資訊執行各種決策，以改善環境及經濟效益；或是將物質流分析結果中所需改變的製程，與企業中的人員進行溝通將有不錯的成效；另

外，物質流分析結果也可幫助國家瞭解物質所帶來的趨動力及巨大影響，政府可以尋找改善環境及經濟的新契機，包括替代物質、修改製程及生產線、並加強物質利用效率的研發；物質流分析結果更能輔助成本效益分析的進行。

綜觀國家層級之物質流分析，其政策應用層面相當廣泛，大體上政策應用方向可分為以下三種(Allen, 2003)：

1. 經濟、貿易、國家安全及科技發展政策

了解經濟體系中物質之利用情況，包括國內經濟產業中之物質流動，或者是物質之進出口貿易情形。當國家物資過度仰賴國外進口時，貿易之主控權相對受限，嚴重者可能影響國家安全。透過物質系統分析，可以提早擬訂相關應對政策。

2. 自然資源政策

收集物質之各生命週期相關資訊，包括物質之來源、使用、存量、最終處置以及物質之需求與供應資訊(包括經濟價格資訊)，透過長期資訊的累積，了解物質資源之耗用情形。

3. 環境政策

了解物質在環境系統中的流布情況，判別可能造成之相關環境污染，開發以物質為基礎之環境管理政策，包括物質利用效率提升，或者是物質循環再利用。

在不同的政策應用上亦有不同的應用工具、延伸計算及應用層面。表 10 為針對 OECD 報告所整理之相關研究結果。

表 10：物質流政策應用整理表

政策領域		應用層面	工具
經濟、貿易及技術發展政策	技術發展	<ol style="list-style-type: none"> 1. 評估物質利用效率，分析公共建設在新建、重建、維護、廢棄等 2. 階段之物質需求，評估經濟成長與直接、間接環境壓力脫鉤的程度 	EW-MFA Physical I-O analysis 可相聯結的工具： 生產力評估 經濟模型 能源需求
	貿易供給	<ol style="list-style-type: none"> 1. 全球經濟分析：國際物質流動對全球化的影響、國家需進口的替代物質、生產與消費的關係 2. 監測國際物質流市場貿易及環境結構效益，及對環境造成重大影響的物質(e.g.有害物質、二次使用物質、可回收物質) 3. 監測國際間物質流動對環境的影響，包括(i)間接流的物質貿易對環境所造成的壓力(ii)輸入物質對環境的重要性(iii)國際運輸對環境的風險 	EW-MFA PIO 分析 EIO 分析 可相聯結的工具： 產業關聯表 國際貿易統計 國際運輸統計
	經濟政策	<ol style="list-style-type: none"> 1. 指引新技術的發展及確認資源耗用或環境造成傷害 2. 確認可行之替代材料以研發新科技 3. 尋找改善能源效率之新技術及材料使用，並提昇替代材料重覆使用 	物質系統分析及物質流會計 產品生命週期分析 可相聯結的工具： 價值鏈分析(value chain analysis)
自然資源管理政策		<ol style="list-style-type: none"> 1. 瞭解自然資源現況及未來趨勢。監督產品永續程度及相關管理計畫 2. 檢視稀有物質之供給，由完整物質循環瞭解產品停留時間在製造趨勢及價格背後之角色 3. 追蹤物質系統(i)用於經濟圈之原物料(ii)於經濟圈中產品之特定物質流量(iii)不同物質在產品的流量(iv)因使用、再使用、廢棄而儲存於國家中之物質量 4. 藉由追蹤能源使用負載評估能源系統使用 	物質系統分析及特定資源計算 可相聯結的工具： 自然資源計算 能源統計及計算 模式運算
環境政策	污染預防控制	<ol style="list-style-type: none"> 1. 繪製營養源或污染物流動情形，瞭解其在環境中之貢獻程度 2. 評估物質開採及製造所產生的環境壓力現況，包括缺乏效率之生產、新研發技術、回收及再循環之改善 3. 監控並瞭解物質未使用及隱藏流對環境所造成的影響。 	EW-MFA 元素流分析 物質系統分析及評估 可相聯結的工具： 廢棄物統計
	廢棄物管理	<ol style="list-style-type: none"> 1. 分析廢棄物產生趨勢，及如何影響(i)資源保護(ii)資源生產力(iii)物質回收及再循環 2. 評估物質活動的經濟成本與效益並減少最終廢棄物的產量 3. 評估回收及再循環物質的發展情況 4. 廢棄物研究領域確認(i)能源節約及回收(ii)物質循環(iii)替代物質(iv)新技術研發 	區別主要、次要物質及回收物質 可相聯結的工具： 廢棄物統計 成本分析 模式分析
	產品應用	<ol style="list-style-type: none"> 1. 檢視產品組成物質的減量、替代及循環等，有助於物質在自然界中流布的機制 2. 檢視產品環境衝擊，特別是有毒混合物質 3. 探索產品設計對於最終廢棄階段的環境衝擊及因應的政策(如禁限用特定物質) 	生命週期評估
	其它	<ol style="list-style-type: none"> 1. 分析物質流環境政策工具的效果 2. 分析政府推行政策的效益及其如何影響物質流 3. 監測政府及產業界環境績效達成度 	質流工具 可相聯結的工具： 成本效益分析 模式分析 環境管理系統

資料來源：Measuring Material Flows and Resource Productivity (II), OECD

第三章 企業層級物質流技術

一、企業物質流管理趨勢

近年來企業以及消費者的環境意識提高，許多企業也開始更積極的尋求環境管理，期待能降低成本並提高獲利，因此需要系統性的工具來協助企業檢視其永續經營之體質，洞悉資源面以及環境面的問題與機會，物質流分析正屬於這一類的工具，適合掌握物質流程、支援製程設計以及評估環境績效。

從近代企業環境管理的趨勢可以看出，其關注焦點已從管末處理轉向清潔生產，因污染防治技術發展已接近其管控成效之極限，然而新的廢棄物和污染排放等問題仍伴隨複雜的生產消費活動發生，故需要能從系統性的視野來進行管理。物質流分析作為一種系統性的分析工具，很適合用來掌握並解析整體系統的問題癥結點，傳統上，工程師運用質能平衡的原理設計製程，物質流分析亦利用質量平衡的原理，來分析特定物質在系統程序之間的流動，許多環境問題往往可以歸因於特定物質的釋放而造成，包括空氣、廢水以及廢棄物排放或安全貯存場所等，物質流分析亦能關注環境排放轉移的問題。如果彈性選定物質流分析的系統範疇，亦可應用在企業的程序整合、生產供應鏈整合或是工業區的產業共生聚落。

相對於國家層級物質流，企業及產業在推行物質流管理時有許多策略可以同時進行，包括工業共生整合、製造與回收體系整合、綠色供應鏈等方式改善製程績效。當企業決心改善製程績效時(包含環境衝擊與效益)，皆需考量各階段製造的程序，包括原料投入、製程操作及產品。改善製程績效應呈現物質效率之提昇，而提昇產品物質效率必須思考三個方式：(1)製程輕量化、(2)製程廢棄減量、(3)永續物質回收。

二、企業及產業層級物質流執行及管理

(一) 永續物質執行步驟

企業生產製造初期在導入物質流管理時，會面臨許多困難及挑戰，包括如何發掘物質流問題、評估與提出解決方案等。OECD 在 2011 年所發表的永續製造工具書中，提出七個重要的執行步驟，透過這些步驟可學習如何評估及如何應用指標來改善製程環境績效，包括原物料投入、製程操作及產品，七步驟可分成：準備期、評估期及改善期。當企業或產業依循此方式逐步執行時，代表其更能永續經營，執行步驟如圖 12 所示。

準備期

步驟 1—構思製程所造成的影響，並設定先後順序：在公司內部組成以永續管理團隊，由其設定目標、檢視可能造成的環境衝擊，且對其排序優先順位。

步驟 2—選擇有用的績效指標，並瞭解所需要的數據：確認對於該企業有重要意義之指標，並探索還需要哪些關鍵數據，作為企業持續改善的依據。

評估期

步驟 3—評估因製造所需要的投入：確認產品製造過程中所使用的物質與元件，對企業的環境績效所造成影響。

步驟 4—對設施操作流程進行評價：考量設施運作的效率與環境衝擊，與資源生產效率(例如:能源使用密集度、溫室氣體產量、廢氣及廢水之排放)。

步驟 5—評估產品：確認消費者使用階段的能源消耗、可回收性、是否含有有害物質等產品特性，以評估產品之永續性。

改善期

步驟 6—解析評估結果：學習解讀結果與解釋相關指標之意義，並解析指標績效可能的改善趨勢。

步驟 7—採取行動以改善績效：找出改善績效的機會點，對此制定行動計畫，並執行落實。

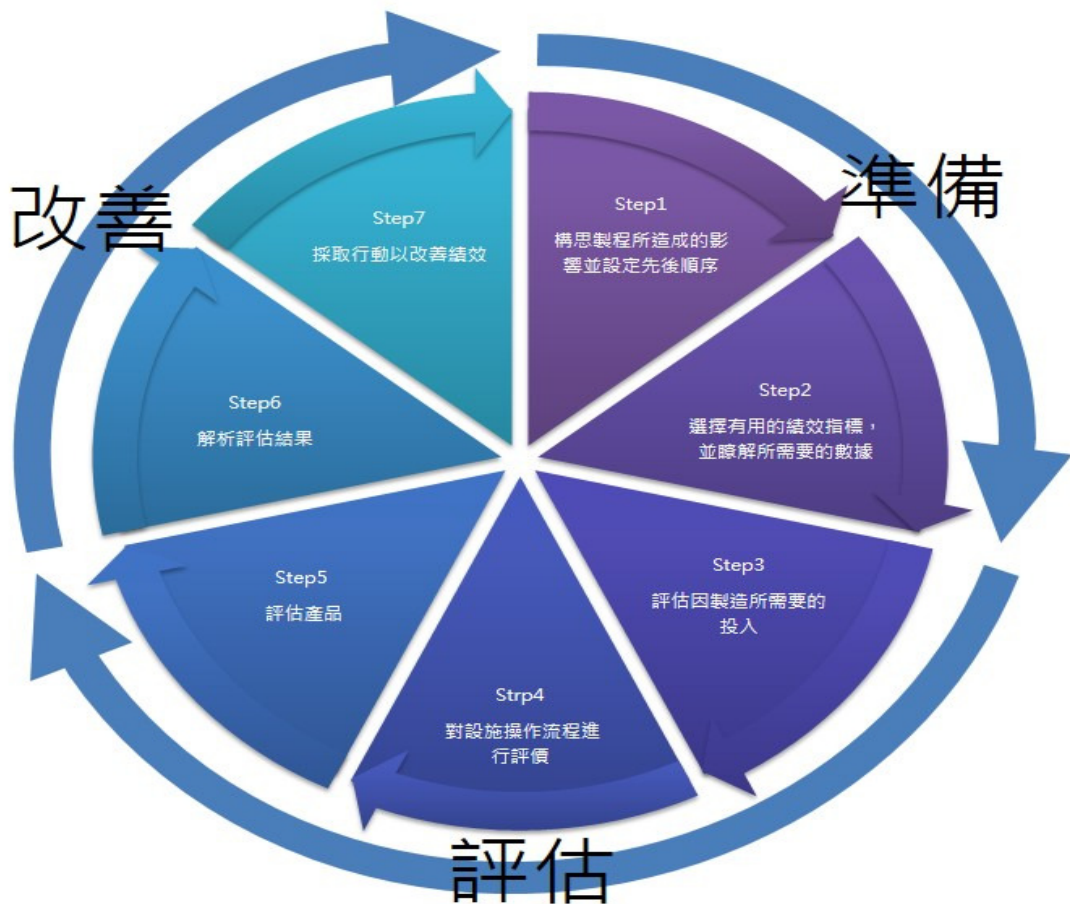


圖 12：永續生產指標執行 7 大步驟流程 (OECD, 2011)

(二) 物質流管理成本分析

企業及產業在進行物質流改善方案時，常面臨成本或方案推行時之阻礙。對於成本管理上，早在 2000 年時美國環保署(USEPA)即對企業物質流成本管理提出四步驟，藉由良好之供應鏈管理及環境績效改善，將可降低物質流管理成本。分別為確認成本、決定改善方向、計算效益、及決定履行監控等。在此四步驟中，企業可以從中瞭解物質管理時之成本壓力來源及環境衝擊來源。而在實際狀態下，企業本身可依據自身產業屬性及組織文化調整最適合之改善方針。

步驟 1：確認成本

企業及產業營運壓力來自於其它競爭對手、客戶及投資股東。為達有效之改善目標，首要之工作即是實際檢視物質管理情形，以確認是否導致重要的環境成本。

而此初步評估將協助企業在物質利用上更靈活。

步驟 2：決定改善方向

當完成初步認定後，下一步是決定哪種方向可提供較大的改善機會。許多企業會追尋 80/20 法則，即表示少數的改善可達成大部份供應鏈所設定的目標。

步驟 3：計算效益

當設定目標後，計算成本與效益即開始。方法一是製程量化評估，其仰賴許多數據來源，兩種量化方法為：Internal Rate of Return(IRR)及 Economic Order Quantity(EOQ)。方法二是由觀查及判斷處理質化評估，當資料取得不易或量化結果耗費太多資源時，此評估可提供正確的方向指引。一般而言，兩種方法皆被採用。環境成本及衝擊在計畫的預算及行程表內被量化出來，除此之外，亦決定營運的收益，增加產品線的效益及其它改善績效。

步驟 4：決策、履行、監控

當經濟及環境條件改善後，最後一項要評估的工作即是進行決策、履行及監控改變。

1. 決策：公司制訂決策的方法非常重要。首要目標即是選擇改善的標的，某些公司則會考量不同層面的利害關係，而有些公司則考量單一面向之替代方案進行改善。無論何種方法，儘可能提供經濟及非經濟的資訊，考慮環境及經濟等面向使其對公司做出最佳的決策方案。
2. 履行：許多立意良好的方案常因缺乏實際執行，而無法實現預期的環境效益，對於有效履行所訂下之目標，有下列四點建議：
 - (1) 重新檢視先前公司的努力，從中學習成功或失敗之原因。
 - (2) 建立成本分析、履行改善之專責單位，並有完整之進度報告。此單位在中後期更顯得重要。
 - (3) 由試行計劃來瞭解改善可能帶來的效益，及需承擔的風險。
 - (4) 提供員工合適的訓練，以因應未來之需求。
3. 監控：當新的物質管理程序被建立起來時，必須定期監控改善情形。而監控結果常為公司重要的績效之一。除此之外，技術及環境快速的改變可能降低原本需承

擔的環境衝擊。

現階段而言，國際標準組織已將企業及產業物質流管理成本分析(Material Flow Cost Accounting, MFCA)標準化，並於 2011 年 11 月公告了國際標準 ISO 14051:2011 的版本。物質流成本分析最初是由德國環境與管理協會(IMU) 所開發而來的，隨後聯合國「環境管理會計業務手冊 (2001)」、日本「環境管理會計技術工作手冊 (2002)」、德國「企業環境成本管理指南 (2003)」和國際會計師聯合會「環境管理會計國際指南 (2005)」相繼導入了物質流成本分析的技術。

ISO 14051 物質流成本分析之執行乃是遵循 Plan、Do、Check、Act (PDCA)循環方式進行。透過不斷重複執行及改進，使組織及企業體本身持續進步，並使結果日趨完善。圖 13 為物質流成本分析 PDCA 循環流程圖。

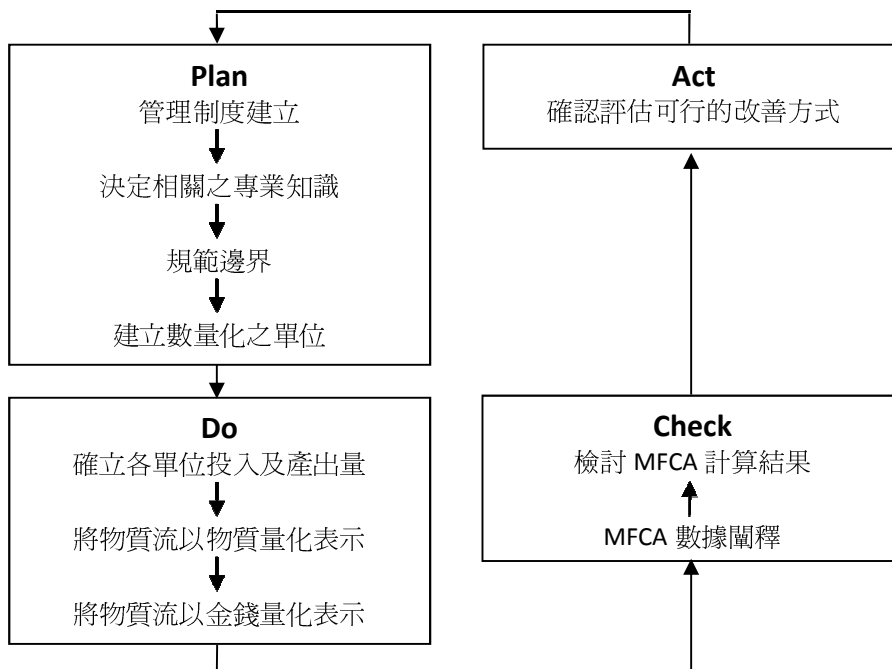


圖 13：物質流成本分析 PDCA 執行循環

(三) 永續物質流管理評估及問題解決

企業在產品製程或執行物質流改善過程中常會遭遇到難題，如替代性物質、技術可行性、經濟效率、法規規範等。當企業面臨上述問題時，從分析到解決問題可依循下列四個步驟執行，其包括問題分析、想法啟發、評估、實現，如圖 14。

1. 問題分析

此階段第一件事為對問題清楚描述，並專注於實際問題上，例如廢棄物及廢氣、水體排放源分別來自於哪些？其二為問題的邊界及發展的脈絡，例如先前針對問題曾做過哪些改善方案？哪些已執行？哪些尚未執行？

2. 想法啟發

此階段需回到前面步驟，由總體的角度來檢視問題。改善想法雖然很初步，但應建構在可取得的資訊上，且應盡可能集思廣義，任何可行的想法皆不放過。

3. 評估

上一階段所提出之創意想法需逐一檢視其技術可行性、經濟成本及可能造成的影響。在經過嚴格的篩選後，即可得出最有潛力執行的改善項目。

4. 實現

此階段主要是實現各程序的想法。對於每一個行動而言，組織內的成員皆需遵從指示。當改變製程中某要素時，可能影響既有工作程序或供應商之間的關係。

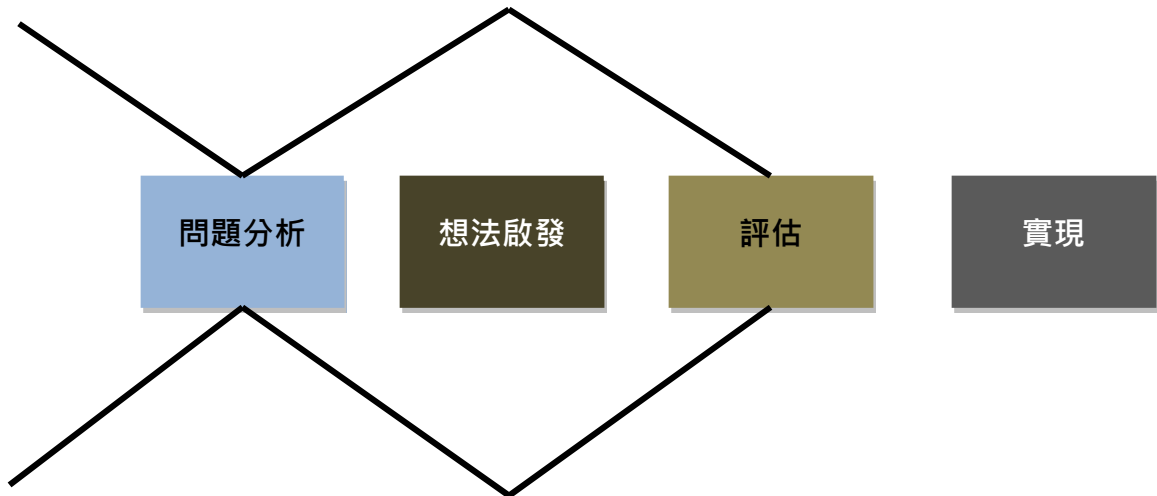


圖 14：評估及解決問題流程

評估及解決問題的同時應注意利害相關者的角色。當檢視公司的相關衝擊時，對於反應關鍵內部及外部相關人員所關注的環境議題相當有幫助，而他們的觀點亦可幫助公司找出先前未發現的衝擊或改善機會，並強調公司內部尚未發覺的缺失。

利害相關者包括員工、投資者、社區民眾、主管機關、競爭者、供應鏈伙伴及顧客等。有些工作團隊中的同事可能與上述利害相關者密切聯繫及溝通。對於其它團體而言，公司必需進行研究並找出這些團體關注的焦點。列出利害相關者的清單並搜集他們最主要關注的事項是有幫助的。表 11 即為利害相關者關心事項之範例。

表 11：利害相關者關注事項範例

利害相關者	感興趣及關心事項
企業客戶	希望展示所有被製造之元件物質已在環境標準控制水準。甚至要求某些特定的關鍵領域必須自我審核。
員工	關心工作環境的空氣品質及暴露危險程度。希望瞭解降低衝擊及維持健康的步驟
地方社區	對於設備所排放出之廢氣感到憂心，期待更多的資訊、趨勢與標準。
管理者	關心設備用水效率的改善並定期對績效進行簡報。
消費團體	關心產品末端溫室氣體排放，計畫列出排放優劣排名。

三、企業及產業物質流核算方法與指標

根據不同的尺度與精細度，物質流指標可以細分為許多種，如圖 15 所示。物質流指標可依據國家(Macro-level)、產業(Meso-level)、企業或產品(Micro-level)等不同尺度進行分類，每一層級皆有相對應的物質流會計帳與分析方法。

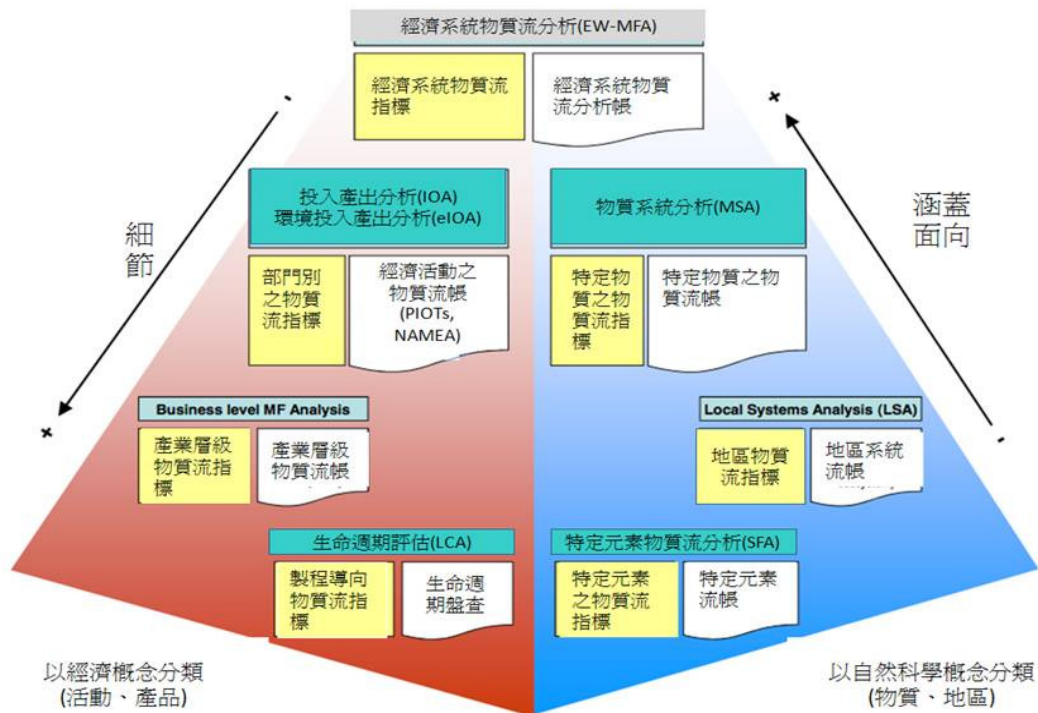


圖 15：物質流分析工具應用 (OECD, 2008)

企業在進行 MFCA 評估時，透過每一程序物質與成本的計算讓隱藏的成本「可視化」，其執行目的如下：

1. 提昇各種資源的使用效率：減少廢棄物產出
2. 提昇經營效率：降低耗損成本、降低工業生產中各種耗損占成本的比例
3. 強化生產製程的基礎：嚴格詳細的製程耗損物質之管理（提昇技術能力與管理能力）

MFCA 利用物質流分析方法來詳細計算企業各製程的物質成本，圖 16 顯示此模式計算基本架構，此架構具有以下三大特徵：

1. 採取分離計算產品之成本與物質損失之成本，產品之成本可當為進入下一個製程前之投入成本；物質損失之成本，指投入於廢棄物處理或廢棄物再利用所形成的成本。
2. 某一製程之產品成本，可作為下一製程之投入成本計算。
3. 分析計算出所有製程之 MC、SC、EC、WTC，如下圖 16。

- (1) material cost (MC)：製品的直接材料、間接材料、加工附屬材料。
- (2) system cost (SC)：人工成本、設備償還費、間接人工成本等。
- (3) energy cost (EC)：電力費、燃料費。
- (4) waste treatment cost (WTC)：廢棄物處理費、委外處理費、再利用加工費等。

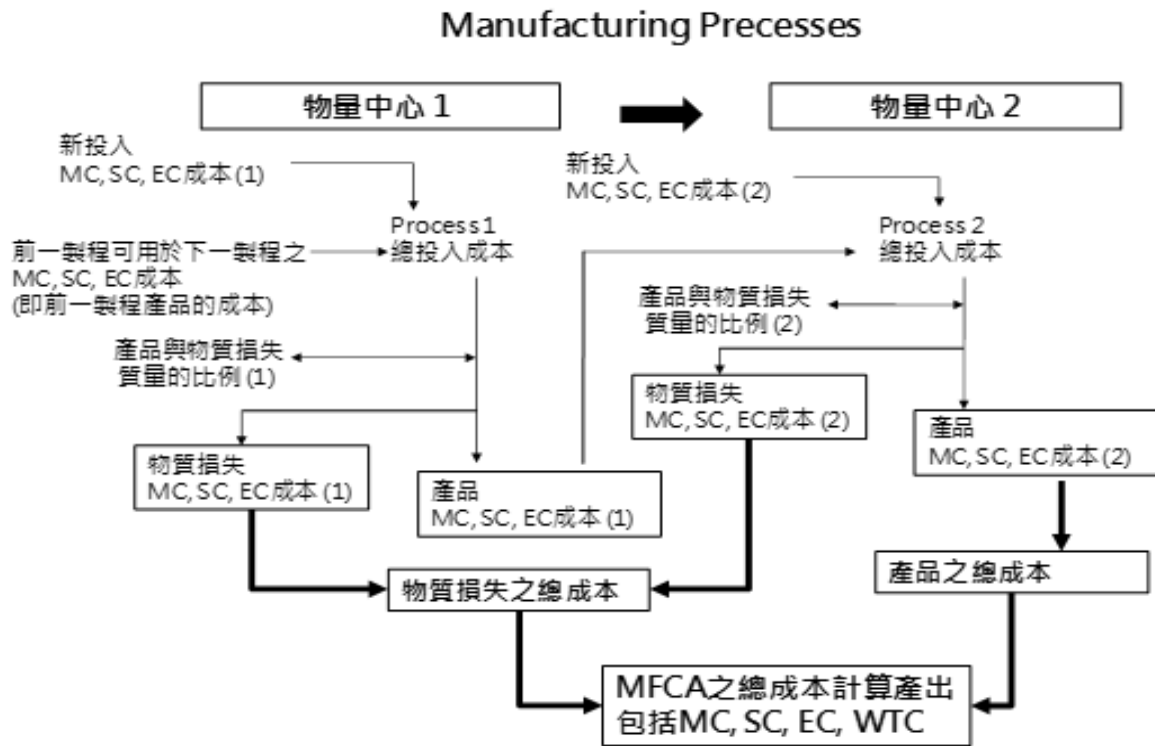


圖 16：MFCA 模式計算的基本架構

(一) 盤查計算與分析

企業及產業層級之表單建立與國家層級的原理相同，但須依製程來設計，盤查表單應依不同產業的特性來編製，說明使用及供給之盤查清單建立方式。在建立表單之前，應先對製程有系統化的認知，常用的方式是繪製製程地圖，在製程地圖中標示出所以程序，最好依作業先後順序來排各程序的上下或左右位置，接著用連結線，標示出製程之間的關係，亦即各種原物料、半成品、製程耗材等項目在程序與程序之間的動向。

完成製程地圖後，則是依製程地圖編製盤查表單，為了清楚理解每一程序的物質投入產出，各程序應各有一個投入盤查表及一個產出盤查表，許多企業已經有製程之

物料清單(Bill of Material)，或稱 BOM 表。可以物質清單來填寫各製程的投入表及產出表單，然而，有時 BOM 表並沒有完整記錄所有的投入及產出，會導致程序的投入總合與產出總合不相符，有時是部分投入物料未計入，有時是製程損失或附產品未計入，故物質流盤查表單編製過程中須要以質量平衡來檢核資料之完整性，製程管理者方能從表單找出製程中可能的損失或浪費，並思考，是否能改進操作方式以提高產率？而各程序產生的廢熱、廢水或廢棄物質是否需要加以再利用？

為了讓盤查所獲得的完整資料易於解讀，並讓企業管理階層能有效投入物質流管理，許多案例會將物質流盤查表單的資料整合到製程地圖中，並用 Sankey 圖的方式做系統性的展示，Sankey 圖的特別在於程序與程序間之流動，是以粗細與流量成正比的箭頭作標示，圖 17 為一建築用水管理之 Sankey 圖例(更多 Sankey 圖應用範例，可於 <http://www.sankey-diagrams.com/>查詢)，因此，主管可以省去於盤查表單詳讀大量數據的時間，而快速鑑識物質在製造系統中的主要動線為何，在各製程損失的比例為何，以及物質流盤查是否完整。若製程負責人能提出改善方案，亦可以 Sankey 圖來展示製程改善的前後，有多少的效益，Sankey 型態的製程地圖可以製程所關心的物質類別分開繪製，相關的軟體可除了第一章之五、所介紹之軟體，還有德國開發的 e-Sankey! <http://www.e-sankey.com/en/>常被專家所使用。

有關於企業的實作案例，聯合國工業發展組織(UNIDO)已於 2011 年發表清潔生產工具書(CP Toolkit)，請中的第三輯為物質流分析，提供企業層級物質流分析之作法說明、案例、練習及管理思考流程，本手冊僅摘錄其一簡單案例做說明，圖 18 為手繪之製程地圖，在此簡單範例中只有兩個主要作業程序，分別為磨豆及用咖啡機煮咖啡，製程地圖也指出有許多原料配方的投入，以及主要產品。表 12 為依這個程序為基礎而盤查出來的表單，其中總投入及總產出都是 992 克，代表系統已經完整平衡，若有其咖啡店長欲改善其煮咖啡之物質效率，依其物質流分析及泡咖啡技術知識，可提出表 13 所列之改善策略。

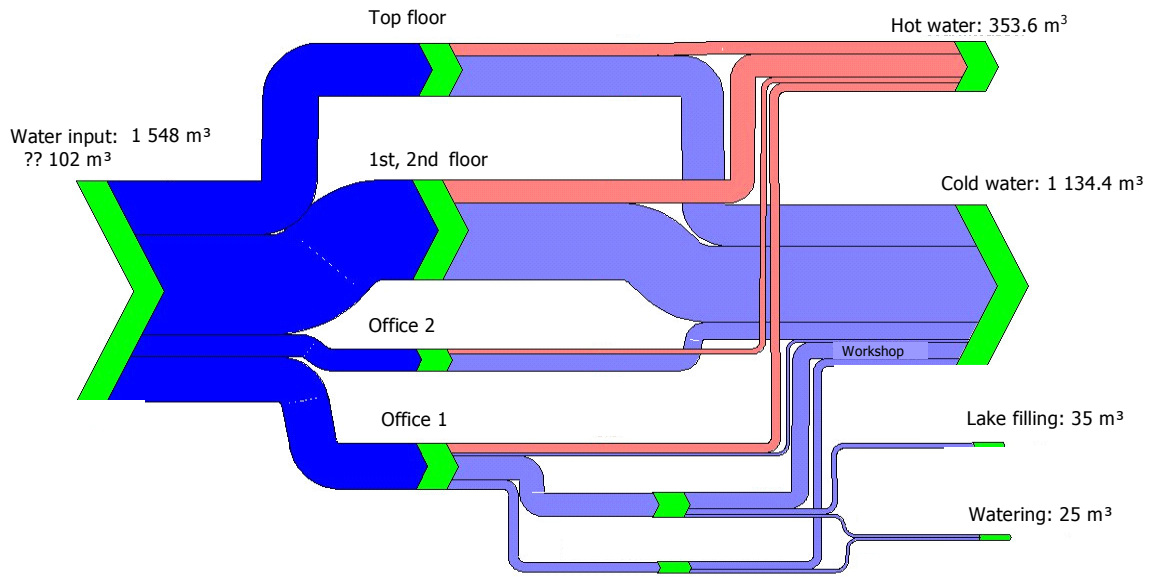


圖 17：建築的水物質流系統 Sankey 圖 (UNIDO, 2011)

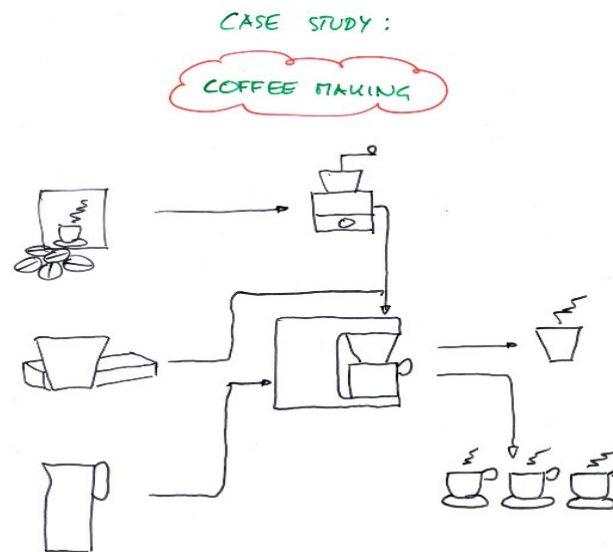


圖 18：UNIDO 清潔生產工具書之製程練習範例—泡咖啡 (UNIDO, 2011)

表 12：泡咖啡程序之盤查表單

投入		產出	
- 咖啡豆	40	- 咖啡 * 水 * 咖啡萃取物	876
- 水	950	- 萃取後殘餘 * 咖啡渣 * 渣內的水分 * 濾紙	873 3 105 36
- 濾紙	2	- 磨豆殘餘	67
		水分蒸發	2
		其他 * 殘留咖啡機的水 * 溢於桌面的水	
總投入	992 克	總產出	992 克

資料來源：UNIDO, 2011

表 13：咖啡店物質效率之改善策略

<p>盤點作業：</p> <ul style="list-style-type: none"> • 提高原用利用率 • 磨豆量產化 • 檢視配方 • 定義成效指標 • 操作人員技術訓練 • 建立品質管理制度 	<p>技術改變：</p> <ul style="list-style-type: none"> • 用新的咖啡機減少水分蒸發損失和廢熱 • 磨豆機減少殘餘物 • 磨出更細的顆粒 • 用較大的濾材 • 換用高壓蒸氣式義式咖啡機
<p>更換原料及耗材：</p> <ul style="list-style-type: none"> • 將濾紙改成可重複使用金屬濾網(芯) • 採用已磨好的咖啡粉 • 提供即溶咖啡 	<p>內部/外部物質回收：</p> <ul style="list-style-type: none"> • 咖啡渣及濾紙做堆肥 • 咖啡渣再一次利用，煮次級平價咖啡 • 以咖啡渣做用防蟲劑之用
<p>其他改善作業方式：</p> <ul style="list-style-type: none"> • 最佳化咖啡使用量 	<p>產品變化：</p> <ul style="list-style-type: none"> • 土耳其咖啡 • 濃咖啡與淡咖啡 • 即溶咖啡 • 其他

資料來源：UNIDO, 2011

(二) 企業及產業層級物質流指標

在物質流盤查完成後，需透過明確之評量系統評估企業物質流各階段物質使用效率之情形。物質流評量方式有很多種，包括生命週期衝擊評估方法中亦針對資源及能源耗用等項目評估物質使用情形。而 OECD 在 2011 年於 Sustainable Manufacturing Toolkit 所提出的 18 項永續製造環境績效量化指標，將目標更明確地著重於物質使用及效率的改善，如圖 19。透過簡單明瞭之計算方式，該指標可以協助組織內部改善管理，並應用於任何形式的製造業。



圖 19：OECD 永續製造環境績效量化指標 (OECD, 2011)

企業及產業在不同階段需要不同之評估指標，由 OECD 所列出之 18 項指標簡易且適合各種產業。然而若需針對各種不同形態之產業類別，則需要更深入之指標加以評估。以下列出企業及產業層級指標計算公式，各指標為比較製造設施之效能，都除了一個可代表該製造的產出強度之正規化因子，所求得每單位產出之能資源消費量，正反應其效能，該正規化因子可以是產品產量、銷售額、員工工時、產品或服務之功能單位及產出產品之總服務年限。

投入階段指標

1. 非再生資源物質強度(I1)：產品中使用有限物質的比例=非資源再生物質消耗/正規化因子。
2. 使用受限物質強度(I2)：產品中使用受法規限制物質的比例=受限物質消耗重量/正規化因子。
3. 回收/再利用物質(I3)：產品中使用回收/再利用物質的比例=消耗回收及再利用物質重量/物質總投入量。

生產操作階段指標

4. 用水強度(O1)：每單位產出所消耗的水量=總用水需求/正規化因子。
5. 能源強度(O2)：每單位產出所消耗的能源=總能源消耗/正規化因子。
6. 再生能源消耗比例(O3)：再生能源占比(生質能、太陽能、風能、水力)=再生能源用量/總能源消耗量。
7. 溫室氣體(GHG)強度(O4)：每單位產出的溫室氣體排放量=製程溫室氣體排放量/總能源消耗量。
8. 殘餘物質強度(O5)：每單位產出的廢棄物量，包含二種計算方式：
 - (1) (所有投入總重+燃油消耗重-所有產品重)/正規化因子。
 - (2) (由不同製程所累積之重量)/正規化因子。
9. 空氣污染排放強度(O6)：每單位產出所釋放至空氣的排放量=空氣污染排放量/正規化因子。
10. 水體排放強度(O7)：每單位產出所釋放的污水量=每單位產出所釋放的污水量/正規化因子。
11. 優良土地(O8)：優良土地占總土地面積=優良土地/總土地。

產出階段指標

12. 回收/再利用量(P1)：產品回收/再利用比例=產品總回收及再利用重量/總產品重量。
13. 可回收能力(P2)：產品中再生物質所占的比例=產品可回收重量/總產品重量。

14. 再生物質回收量(P3): 產品中再生物質所占的比例=產品中再生物質重量/總產品重量。
15. 非再生物質回收強度(P4): 每年產品非再生物質使用量=產品非再生資源重量/產品預期使用年限。
16. 限制物質(P5): 產品中限制物質比例=產品中限制物質總重/產品總重。
17. 能源耗用強度(P6): 年度單位產品製造之能源需求=(每單位產品平均每年能源消費×生產數量)/正規化因子。
18. 溫室氣體排放強度(P7): 每年每單位產品溫室氣體產生量=(單位產品平均每年溫室氣體產生量×生產數量)/正規化因子。

OECD 所提出的永續製造環境績效量化指標，在評估物質使用效率時，某些時候仍顯不足。為因應各種不同企業類別生產的情況，指標的制訂需要更加有彈性，並需針對不同產品製程，制訂符合該項產品生產製程的指標。企業對於永續製程投入的程度越深就會需要更適切的指標來檢示其執行績效，下圖 20 提供選擇合適指標所需考慮的層面；而下圖 21 提供企業在永續製程不同投入程度之努力目標。

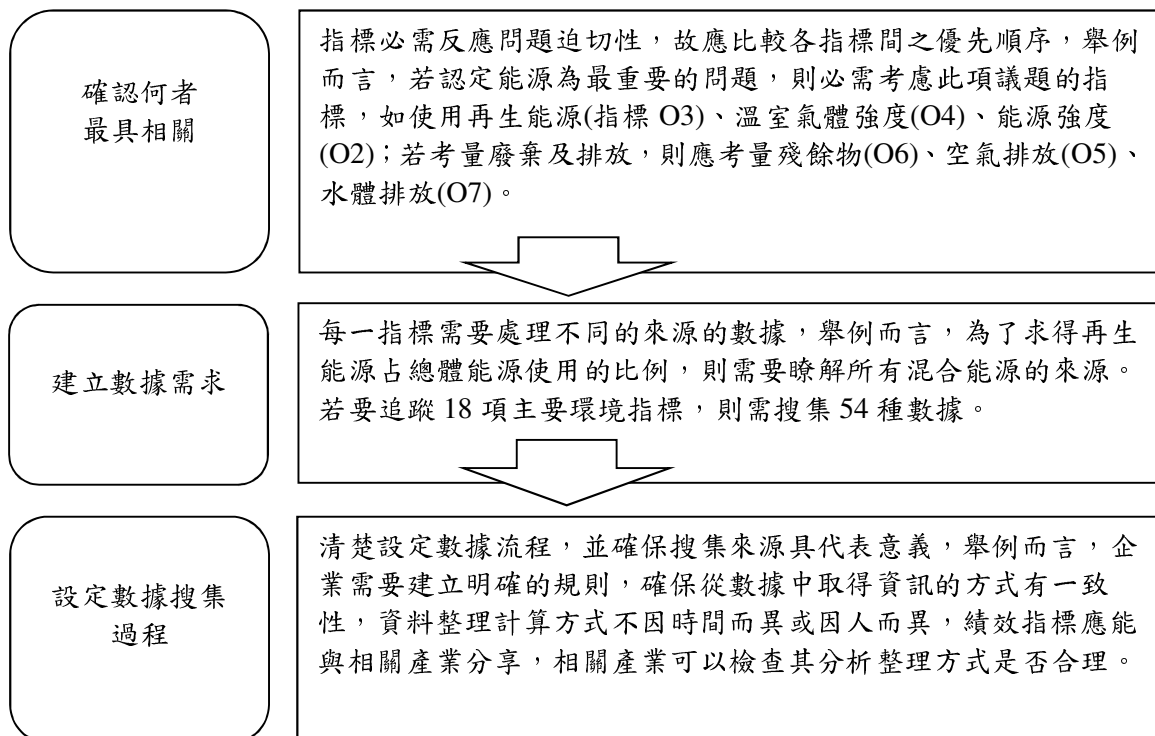


圖 20：選擇正確指標之步驟

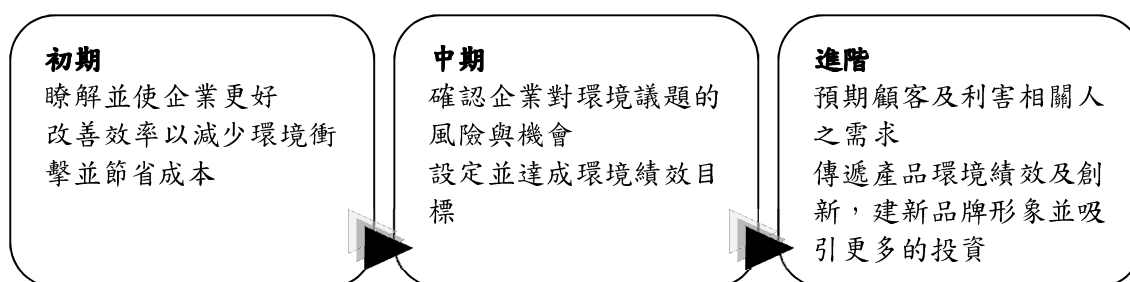


圖 21：物質流永續製造之不同階段之努力目標 (OECD, 2011)

企業在生產過程中是否能提昇生產力及降低環境的衝擊，需要依賴物質流相關指標進行評估。然而所制訂的指標是否能同時考量企業及環境層面的具體意義及代表性，則需進一步商榷。下表 14 及圖 22 為衡量企業及環境中所設定指標之影響。如圖 22 所示，當衝擊程度越高時，則表示該議題指標在環境及企業的面向中越顯重要，而越重要的議題指標則需被企業納入評估的標的。

表 14：評估衝擊的優先順序

衝擊程度	環境衝擊	企業衝擊
高	造成重要損害結果及重大環境考量面，而引起利害相關者注意	企業中重大影響的殘餘物質及潛在的損失
中	造成環境傷害或增加環境負擔，而引起利害相關者注意	企業中重要的殘餘物質
低	造成環境微小傷害或增加環境負擔，而引起利害相關者注意	企業中次要的殘餘物質

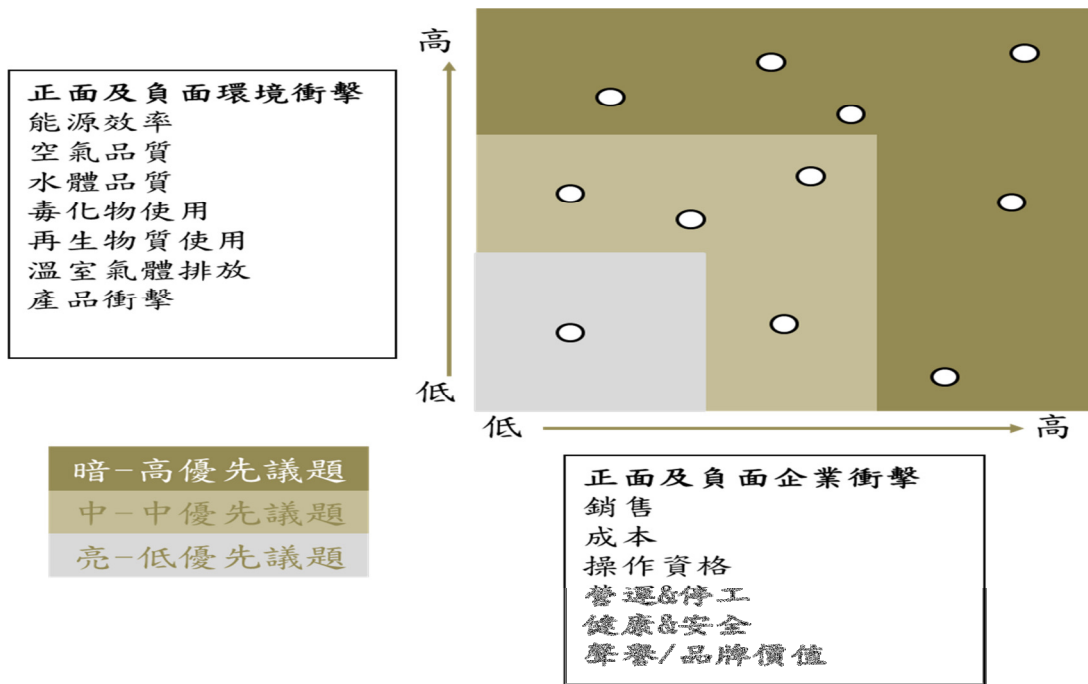


圖 22：企業環境衝擊指標重要次序分析矩陣 (OECD, 2011)

四、企業及產業物質管理方案

企業試圖改善供應鏈，藉由上下游的結盟，形成強大的改善力量。改善供應鏈績效之方式可由有效率的物質流管理著手，包括製造、使用、廢棄等階段(圖 23)。因此，企業需與供應商、運輸業者、顧客有更密切的合作關係，以永續的態度製造，可以對企業形成清楚且正面的形象。目前已有大量的研究顯示，改善環境績效及資源循環，可以改善存貨成本、增加銷售量、營收增加等優點。如表 15，在與投資者關聯性、經濟效益、企業優勢等不同層面議題下，物質流管理可幫助企業向永續經營之目標邁進。

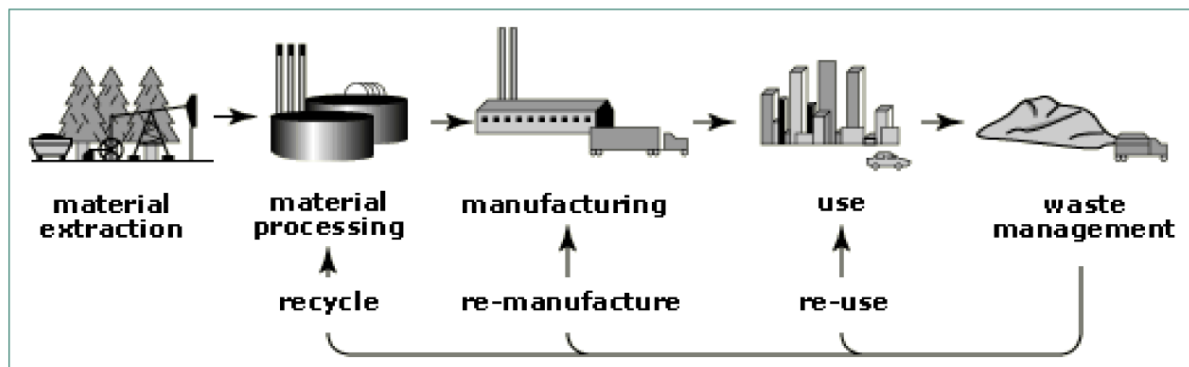


圖 23：物質在生命週期各階段流布

表 15：物質流永續製造管理對企業的幫助

議題	對企業的好處	原因
與投資者的關聯性	增加聲譽	展示綠色成效及案例
	改善員工道德觀	員工重視友善環境及企業生產力
	建立良好溝通關係	透過環境負責且主動地與民眾互動
經濟效益	增加銷售	達到環境及社會期待，並且優於競爭者
	改善效率及生產力	減少資源使用及廢棄物，減少監管負擔
	減少昂貴或有害物質	因探索、研發及引入綠色替代材質
企業優勢	對新規範保持領先地位	由於主動地改善嘗試，而非被動地達到最低要求
	獲得資本	減少操作風險，且研發創新解決方式及新產品市場
	得到未來趨勢策略	預測如何尋找創新解決方案或附加價值

資料來源：OECD, 2011

在永續生產中包含三個面向，即經濟、環境、社會。在不同的面向中各自有不同關心之議題，如表 16 所示。

表 16：企業永續生產管理考量層面

相關面向	考量因子
經濟	基礎建設投資 創造就業 創造利潤 對區域經濟有所貢獻 支付稅，包括環境稅 創新的動力
社會	法規要求 人權考量 良好社群關係 良好工作環境 公平交易 產品安全性確保
環境	有害物質使用最少化 能源及資源使用效率增加 使用對環境友善之物質及能源 保護生物多樣性 廢棄排放量最小化

資料來源：OECD, 2011

(一) 企業及產業物質流管理實務議題

當企業決心改善製程、設備之績效時，需考量各階段程序所造成之正向及負向之環境衝擊，包括原物料投入、製程操作及產品。永續製造(sustainable manufacturing) 乃是協助企業提昇製程環境績效之重要策略，其定義為：「產品在製造過程中，包括投入、製造、最終產品及廢棄等階段，環境衝擊最小、節約能源、且使用最少自然資源；並對受僱員工、社會環境及消費者而言，是安全且經濟的」。

產品物質的投入，未來可能會對環境績效產生不良影響，因此選擇環境友善的投入，可以減少負面的衝擊及製造的風險。一般而言，改善投入可以有很多方法，而且是雙方皆有利的局勢。圖 24 說明綠色投入的優勢，投入階段受關注的議題包括減少物質使用與有害物質、以毒性較低物質替代、增加可回收與再生物質。



圖 24：綠色投入主要環境議題

對製造階段而言，環境議題仍是受到最大的關注，包括能源、水資源的使用，廢棄物產生、空氣及水體排放、臭味及噪音、土地及自然生態等。另亦有部份之環境議題來自於物質間接的消耗及投入。表 17 為製造階段主要的環境議題。

表 17：製造階段主要環境議題

議題	說明
能源及水使用	生產過程當中使用化石燃料等資源，導致溫室氣體排放
廢棄物產生	在製程當中所產生的殘渣，妥善處理需要一筆開銷費用
空氣及水體排放	通常對人體及生態造成影響，可為區域性或全球性議題，而且食物鏈亦會間接影響人體健康。
臭味及噪音	直接影響當地居民，造成身心健康危害。
物流系統	輸送原料及產品，需要原料投入，並造成污染排放與噪音等衝擊
員工差旅及其他開銷	雖然非直接與產品產生關聯，但運轉的設備如照明、空調等，亦會對環境產生衝擊。員工在工作上的通勤、旅遊便是如此。
土地使用及自然生態衝擊	通常為區域性的衝擊，依區域的環境敏感程度、設備及周圍地理條件之不同而有所差異。

資料來源: OECD, 2011

而在最終產品及廢棄階段，各種不同規模的企業，皆需考慮其供應鏈造成的環境衝擊，以增加競爭優勢。包括下列方式：

1. 減少廢棄物質的修復、維護及運轉
2. 減少殘餘物所增加的成本
3. 減少有害物質的消費
4. 將廢棄物轉為副產品
5. 透過更準確的物質管理來減少有害物質的使用
6. 減少廢溶劑、塗料及其它化學物質使用
7. 回收有價物質，並評估資源回收體系可行性

美國環保署在物質流供應鏈改善方針上，亦提供多項改善案例，由成本及效益層面之考量，更能貼近企業及產業執行物質流管理相關工作之需求及動機。而除了生產績效外，亦需重視其對於環境所造成的影響。環境議題會因不同生產製程而有差異，生產過程對於環境及物質之效率可分為投入階段、製造階段及產品階段，由 18 項主要的指標來檢視(參見本章之二、(二))，並思考其如何影響企業，可以製成記錄表單，詳載不同設備所造成的衝擊。下表 18 為物質永續製造環境衝擊改善範例。

表 18：物質永續製造環境衝擊改善範例

衝擊層面	自然衝擊與利害關係人關注的議題 (正面/負面)	洞察潛在的改善及成本效益	更詳盡資訊取得或需求
投入			
使用有害物質	某些物質可能對人體或環境產生危害或已被相關法規禁限用。全民已注意到此相關議題。	以較小危害物質替代。	需要對供給面進行評估，並確認成本效益分析。
製造			
能源效率&熱能損失控管	低落的效率及熱能損失即是能源與金錢的浪費。員工及消費者會在意效率的提昇。	基本監測數據將協助尋找效率低落的原因，並確認是否有改善機會。	找出其它能源監控方案，並評估如何告知並影響相關人員
產品			
最終產品過度包裝	目前的包裝是無法再生且是難以回收的。有越來越多的顧客投訴此議題。	需要尋找可以回收的包裝紙板。	評估紙板包裝的選擇並提昇產品的品牌價值。

(二) 物質流管理成本及效益展現

物質的決策管理會影響公司重大的決策績效。包括營運成本、投資需求、產品品質及是否能如期交貨等。而當物質流管理過度著重於商業考量時，則環境因素往往被忽略。而最不幸的是，由於物質管理與環境議題所造成的不協調，導致公司隱藏的環境成本未被發覺。此亦是傳統環境會計系統在物質管理上最大的問題。

物質及人力成本直接反應在產品製程上。而當重要的成本無法合理分配產品及製程時，在估計成本時會造成不準確的情況，進而影響決策分析。環境成本即常出現估計錯誤的情況。圖 25 即說明環境成本的重要性。在圖 25 (a)，廢水處理的成本並沒有被準確納入，而造成產品在計算成本時有誤差，而圖 25 (b)則有較完整的環境成本追蹤機制，對於產品、製程及設備提供有效的分析。

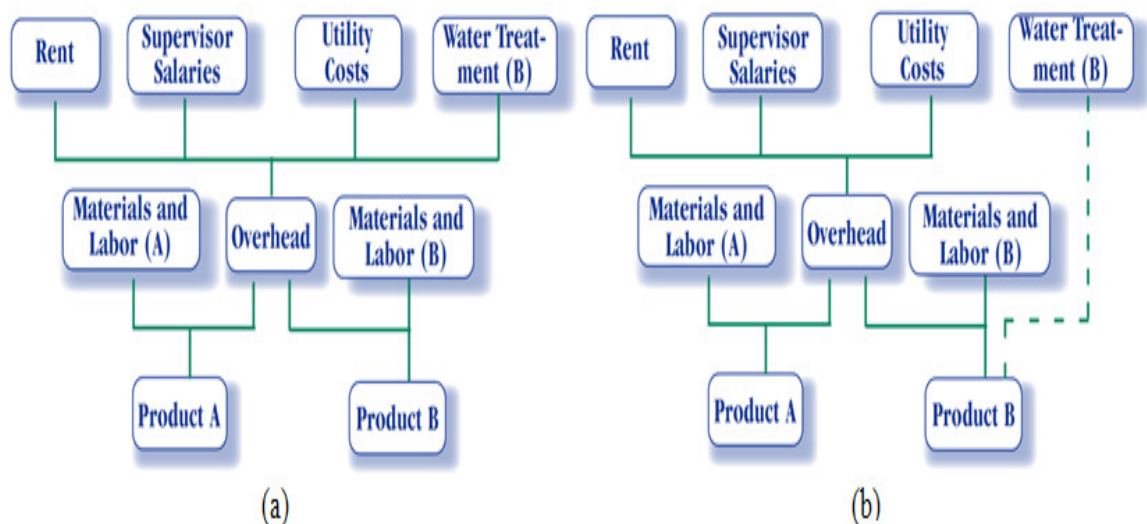


圖 1：物質流管理改善差異

根據日本經濟產業省從 2001 年的企業案例實踐與理論研究，已有超過 100 家的企業執行過物質流成本分析(MFCA)，應用範圍包括：住宅用材料製程、民生化學品製程、高科技化學品製造、食品加工業等，近來已有朝向產業供應鏈與服務業推展案例的趨勢。表 19 為日本企業已有效執行 MFCA 的製程領域分類說明。2007 年由日本產業技術環境局、環境政策課和環境協調產業推進室共同發布了全球第一份物質流成本分析指南，該指南為各國發展循環經濟與低碳經濟提供了非常重要的資源管理、環境管理的工具技術。因此，本文將以目前在日本企業正在推行的 MFCA 制度，作為執行的標準化準則。而由於 MFCA 所盤查的資料對象，除了物質的項目與數量外，還需要揭露作業成本的，這牽涉到公司的營業與技術機密，因此，此工具的應用必須與合作企業有密切的配合，方可有結果的詮釋。

表 19：可採用 MFCA 之製程範疇分類及說明

製程領域分類	說明
加工型/原料處理型之製程範疇	加工型：各式加工製程，如機械加工或樹脂成型加工等，此製程特徵為容易產生大量粉塵、殘料、廢棄物等之加工型製程。
	原料處理型：MFCA 對於收益率或熱平衡較差的原料製程，有良好的管理效率。此外，亦可適用於礦物等原料含有率之成本模擬。
有廢棄物產出的製程	在製造過程中產生廢棄物者，如所投入之材料、半成品的殘料或不良品等。
	MFCA 特別適合用來分析製程後半時期所產生之殘餘物料與不良品，以改善整體生產流程。
	製造完工後，若產品的使用期限較短時，庫存中的產品將會有廢棄或毀壞的情形。
	不同產品製程切換時，在機台洗淨或調整階段，會發生耗損材料之情況，當產品越多樣化時，耗損也將越大。
複雜的製程	當有各項不同製程同時生產的情形，特別是有多種部門與製程分工的情況，MFCA 可詳細釐清各製程中的耗損情形。
廢棄物可回收再利用的情形	回收再利用：雖然廢棄物以回收品售出的價格低於購入價格，但若需要加工處理，則加工費用應視為耗損，MFCA 可清楚此定量分析此耗損。
	製程內回收：雖無材料費之耗損，但 MFCA 仍可應用於加工費之耗損計算上。
有效管理資訊不足之廢棄物質	當投入物質的殘料、製程轉換時之材料耗損、不良品之耗損等，不易在製程中精確分類時，MFCA 可清楚釐清耗損情形，幫助此類型廢棄物的管理。
管理原料、半成品與不良品	結束生產後之原料、半成品與成品等，當面臨廢棄時（尤其是在產品生命週期短或產品市場變化快速時），MFCA 可幫助此類型物質的管理。

資料來源：Guide for Material Flow Cost Accounting, METI, 2007

(三) 企業及產業物質效率改善方向

如同前節所說，企業及產業在提昇物質效率時，必需掌握的三要素有：(1)製程輕量化、(2)廢棄減量、(3)物質回收。本節分別針對能源、水資源及廢棄物等三大方向，進行改善說明。

1. 能源使用效率改善

過度開採與消耗能源導致全球暖化與石化燃料短缺，並橫生連串的負面效應，迫使國際間正視「節能」之重要性，於是透過能源價格提高用能效率、擲節建物與工業之能源消耗量等措施，希望達到「節能」之終極目標。

節能的效益有：(1)降低內在成本，如降低生產成本與風險、增進能源安全、創造市場機會、提昇員工作業品質。(2)降低外在成本，如改善公司管理形象。節能計畫的執行，需經過詳細的評估規劃，其效益會依所施行的策略不同而產生不同的成果。

企業個體未能積極執行節能措施之原因包括：缺乏執行經驗與警覺、缺乏財力及人力資源、未有具強制約束力之節能規章。因此，有效之節能計畫執行可依循下列步驟：

步驟 1. 收集資料，將公司年度能源消耗資料與來源製成趨勢圖，藉此了解製程能源使用狀態，以達成最小化能源用量之目標。

步驟 2. 草擬器材清單，藉此進行改善選擇的思考。

步驟 3. 記錄資料，以便進行分析及控管。

步驟 4. 訂定消耗基準，以評估公司能源消耗表現。

步驟 5. 記錄並分析負載資料，藉由電力負載管理來控制尖峰負載，並進行最大需求控管，將有助於節能策略的進行。

步驟 6. 思考選擇，藉由評估節省每項耗能產品的耗能量，可製造多少的效益，進而從中選取最適合的節能方案。

2. 用水效率改善

由於人口與經濟發展快速成長，導致全球水資源需求量持續上升，但水資源因過度開發，冰川與積雪融化速度過快，且雨水未有效蓄積等因素，致使其供給量持續減少，更因缺乏完善的廢水處理設施，導致全球各地面臨水質持續惡化之困境。

當前全球遭逢用水困境，此勢將企業推向用水成本高漲(進而墊高生產成本)、可用水量縮減、產業風險提高、面對與民爭水抗爭等困境，除了需積極研討提昇用水效率之作為外，透過避免污染物排入水源，及提昇水資源的重複利用率，亦可同時達成零污水排放與提昇用水效率之目標。

企業提昇製程中的用水效率所帶來的效益，除了可節省生產成本，連帶可達成提昇相關能源使用效率(如減少處理廢水之用電量)外，亦可減少人工儲水及處水設施需求量、保護生物棲地、降低製程的環境污染量(如減少廢水量)等效益。

3. 廢棄物減量

在各種不同規模下的企業組織，皆需考慮各物質在不同供應鏈所造成的環境衝擊，以增加競爭優勢。就廢棄物而言，企業所扮演的角色包括下列：

- (1) 減少廢棄物質的修復、維護及運轉
- (2) 減少殘餘物所增加的成本

- (3) 減少有害物質的消費
- (4) 將廢棄物轉為副產品
- (5) 透過更準確的物質管理來減少有害物質的使用
- (6) 減少廢溶劑、塗料及其它化學物質使用
- (7) 回收有價物質，並評估資源回收體系可行性

廢棄物減量方式，可藉由繪製廢棄物流程評估，及預測各製程中物質流入及產出的情況，如表 20 所示，以便對各項製程制訂一套針對性的管理系統辦法，從而增加物質的投入及產出效率，減少中間和最終廢棄物總量。

表 20：物質流分析廢棄物減量步驟

步驟	說明	具參考性之資訊產出
1. 繪製廢棄物流程圖	於流程圖中訂出各廢棄物的流向	廢棄物流程圖
2. 平衡系統物質	找出各製程間物質輸入、輸出的詳細資訊數據	物質平衡
3. 標出廢棄物來源	減量化、再利用、再循環	廢棄物來源
4. 權衡各種行動方案	從文獻或其他行業的經驗或來自廢棄物處理業者的建議	決定可用之廢棄物減量方案選項
5. 評估選擇及執行系統	評估選項，結果闡釋和執行程序	

資料來源：UNEP, 2010

(四) 產業物質流鏈結案例

產業鏈成功的物質流案例中，國際上最受矚目的即屬丹麥卡倫堡的生態化工業園區，系統中有能源、水及多種物質重複利用。系統核心包括燃煤發電廠、煉油廠、水泥廠、製藥廠、酵素生技廠，系統周邊有石膏板廠、硫酸工廠、水產養殖以及都市系統。圖 26 為各種物質在卡倫堡工業園區中再次利用的路徑圖，我們可以發現，使用過的水可以投入次級使用的工廠，因為水的純度需求較低，同樣發電剩下的廢熱，也能做為加熱之用。各種原本可能廢棄的物質，因系統整合產生更多可能性，例如燃煤之集塵灰可作為水泥原料，發酵製程的廢有機物質可作為農畜產的營養物質投入，甚至污泥及廢土都能成為土壤改良劑的替代原料。

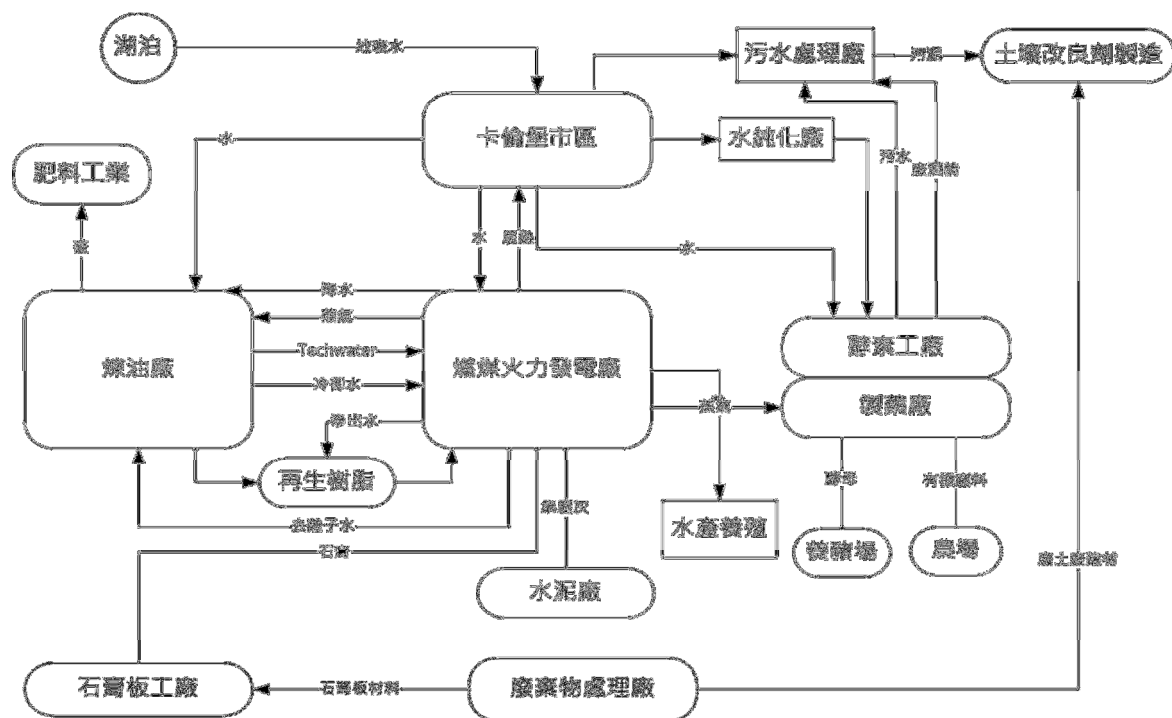


圖 26：卡倫堡工業區的物質能量再利用系統

對於產業物質流，中技社與台大研究團隊針對台灣汽車產業鏈亦進行廢棄回收端先期研究。國內廢車回收產業發展已久，此產業過去存在主要的支撐，是在於車輛維修體系對於二手零件的需求以及煉鋼廠對於廢鐵的需求。雖然廢車回收業已發展許久，但往往只針對最具回收價值的資源來進行回收再利用，對於一些較次要的資源，會以較不永續的方式來經營，也因此會造成與這些物質相關的環境問題發生。隨著國內環境保護理念的興起，政府機關亦逐步導入各項管理手段，以促進資源利用，減少環境衝擊。

在 1993 年以前，也就是政府還未著手介入車輛回收的情況下，回收工作基本上依照著落後且被扭曲的經濟市場原則(無需負擔外部成本)在運行，由傳統廢鐵商或回收拆解業(非廢車專門)將廢車收購或拖吊，將廢車上的有價資源如零件、引擎與電池等物品拆卸回收販賣，車體含鐵部份則是經壓扁或裁切後，最後運交電弧爐煉鋼業者作為煉鐵原料。當時政府對此尚未進行有效管理。

在 1993 年~1997 年期間，政府為整合當時的廢車回收體系，推動廢機動車輛全面回收工作，環保署正式成立「財團法人一般廢棄物回收清除處理基金會」，主要任務為接受機動車輛製造及輸入業者之委託，協助車輛的生產者進行廢車輛回收及廢棄處

理工作。聯合拖吊、儲存與拆解業者，將傳統回收方式，轉化為車主主動通報及多重管道進行回收，並協助體制內回收商提昇拆解技術及改善作業環境。

1997 年中期至 1998 年中期，因「廢棄物清理法修正」而導致的廢車資源回收整體架構發生重要改變，包括：

1. 將原本由環保署成立、負責廢車回收工作之「一清基金會」，改由新成立之「廢機動車輛資源回收管理基金管理委員會」取代。
2. 廢車回收清除處理費改繳至環保署指定之金融機構收支保管費用。
3. 費率審議委員會進行有關廢車回收清除處理費率之訂定、計算及調整。
4. 回收作業中之各項稽核認證工作，是委由環保署評選之第三稽核認證公正團體負責。

1998 年迄今，成立「資源回收管理基金管理委員會」統籌辦理車管會之業務，將過去公督民營的方式改為公辦公營，新制回收體系除由環保署共同基金所扮演的廢機動車輛回收推動的角色外，尚有回收體系下游之處理業者，其修正後之回收通路整體架構如圖 27 所示。以 2008 年為例，台灣汽車登記掛牌數為 672 萬台，而環保署推估該年度廢棄車輛數約為 27 萬台。同時台灣認證回收報廢汽車約為 20 萬台，推算汽車進入回收體系的回收率約為 75%(環保署)。

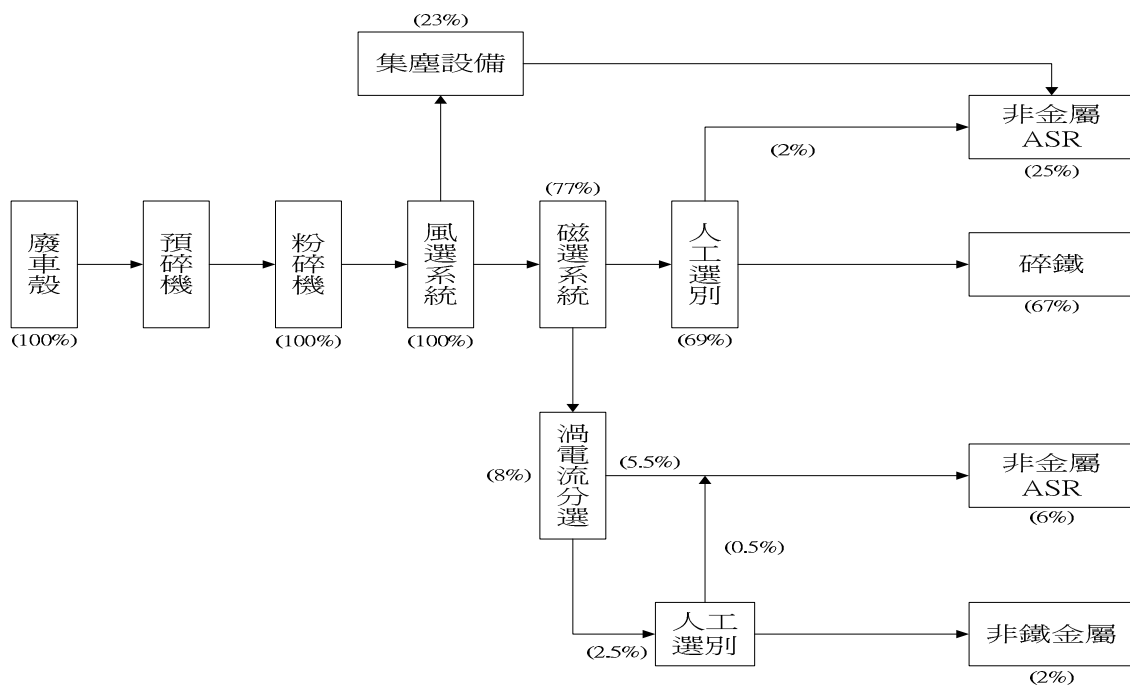


圖 27：新制回收通路整體架構圖

在廢車的回收過程中，共可分為三大體系：(1)廢棄物再利用與製程體系、(2)廢車回收處理體系、(3) 固體廢棄物處理體系。以下分別說明：

1. 廢棄物再利用與製程體系

於 2008 年時，台灣進入廢車回收體系的廢鐵量約為 16.8 萬噸，占了約總量的 75.92%，其餘的 5 萬多噸鐵資源，是透過非正式的回收體系進行資源再生，相關的評估資料無系統性整合。若先暫時將非體系內部之資源納入評量的範圍之內，我們可以得到以下幾個結果：

- (1) 在台灣，單廢車回收處理體系的鐵資源再使用率約為 17.6%、資源回收率 73.5%、掩埋損失率 8.9%。
- (2) 若將廢車回收體系結合固體廢棄物處理體系，可將資源回收率從 73.5% 提昇至 76.3%，資源損失率(逸散+掩埋)從 8.9% 降低至 6.1%。
- (3) 業界評估，未進入體系之廢車，一般而言，物質回收的比例與妥善處理的情況會較體系內的不良，尤其是若廢車殼沒有進入粉碎廠時，可能會對電爐廠等後續處理設施帶來負面的衝擊。

2. 廢車回收處理體系

廢車回收處理體系是由拆解場與粉碎場組成，拆解場的主要鐵資源流向，包含再使用的二手零件、金屬回收以及廢車殼，固體廢棄物的部份幾乎全都隨廢車殼進入粉碎場，並可得到以下結果：

- (1) 廢車回收再使用(二手零件)的發生主要是在拆解場，其比率為 17.6%。2008 此一比率在日本是 20~30%(by total mass)。(Establishing a sound material-cycle society)。
- (2) 目前拆解場會將廢車中約 23.9% 的鐵資源進行金屬回收，其餘的部份都將隨廢車殼進入粉碎場。
- (3) 拆解場的鐵金屬回收中，有許多部份是因為二手零件販售不出去而造成，此量約佔廢鐵金屬 50% 的量，具有改善空間。
- (4) 依資料顯示，粉碎場可將廢車殼中 85% 的鐵金屬分離出來。

3. 固體廢棄物處理體系

在固體廢棄物處理體系中，被送進焚化爐的鐵資源約 94.6%留在底渣中，5.4%留在飛灰中。依底渣回收製程以及環保署的統計資料，底渣中的鐵金屬會有 33.5%被分選回收，35%與底渣進行鋪面材料，而剩下約 31.5%進入掩埋場掩埋。

(五) 企業物質流執行案例

物質流分析需盤查一個製程或系統的投入及產出，當單一製程技術已經最佳化時（即單位投入所產出的產品產量最高、廢棄物產量最低），若資源生產力要再提高，就需要靠系統的最佳化。系統的最佳化除了提高各製程的效率，更可以藉著物質、能源、水資源、廢棄物在不同製程之間重複利用來達成。系統性的資源生產力提昇很容易就能超過個別製程的效率提昇，所投資的設備和技術成本很可能更具經濟效益。下表 21 為企業及產業執行物質流管理策略並改善後所帶來效益之案例。

表 21：企業物質流管理改善案例

改善方式	成果
<p>購買 包括 Nortel 及 Intel 等電子廠已由單純購買原物料，轉換為以化學品服務之方式進行化學品管理計畫。而此服務包括購買、盤查管理、數據追蹤及廢棄物管理。</p>	<p>使供應商有減少物質使用的誘因，並充份運用供應商的專業知識。化學物品管理者不再只是削價提供給消費者，而是附加更高的價值。有了正向的動力，供應商可以回饋在減少化學品的使用、增加生產力或減少廢棄物等層面。</p>
<p>物質搬運 多數的公司已改用可重複使用的系統。3M 目前已提供包裝生態效益之服務。而 GM 也有良好的托盤及容器重複使用計畫。</p>	<p>由於與供應商合作密切，GM 成功地轉換可回收的包裝系統，並在 1987 至 1992 年間減少 1200 萬的包裝成本。除此之外，可回收的包裝材可以減少固體廢棄物、減少產品廢棄、降低物質運送過程危害及最小化經濟及安全性的問題。</p>
<p>儲存 許多公司已經改變他們的儲存流程，尤其是維護、修理及運轉等，並嚴格要求供應商執行回收策略。</p>	<p>在電力及天然氣公司簡化購買及儲存流程後，在 1997 年節省超過 200 萬美元。此項改變有效地減少油漆及其它物質的廢棄，並降低所需儲存空間及運輸成本。在此之前，該成本是被隱藏而未被發現的。</p>
<p>物質回收 針對具有高價值之物質及減少廢棄物等項目，許多公司應用環境會計方法於物質回收計畫。</p>	<p>Andersen Corporation 發展出以廢棄木材製成之製造程序。此項發明預期產生 50% 的投資效益，並且減少實體原木買賣量高達 750000 板英尺。</p>
<p>節能措施 製程導入能源管理觀念並應用再生能源。</p>	<p>Pwani Oil Products LTD 為食用油、食用脂肪及洗衣肥皂製造商，其透過安裝節能燈、汰換低效能舊機、減低蒸氣外洩量等措施節能。在台灣不論是傳統產業或科技業，皆已進行電力回收及熱能回收之工作。</p>
<p>節水措施 節水標的依不同製程型態而有不同，然而其主要有下列項目：生產機台用水可串聯使用、提昇機台使用效率與用水效率、提昇回收水(含廢水)再利用效益、避免製程中之無效用水等。</p>	<p>Chandaria Industries Ltd 主要為利用再生紙漿再製成衛生紙、相關機器定期維護、製程廢水與淨紙用水再利用、採用品質較佳之廢紙為原料等。製程中各式機台清洗水潔淨度要求程度不同，故將部份已使用過之清洗水回收至此類潔淨度需求較低之設備做再利用。</p>
<p>廢棄物 許多公司希望由減少廢棄物排放而節省支出，但可由成本資訊來確認更具吸引力之節省成本方案。</p>	<p>Commonwealth Edison 為一家美國中西部的電力系統公司，使用環境會計的方式來減少廢棄物掩埋的體積。藉由生命週期計算突顯出包括廢棄等各式活動之間接成本，該公司即針對伐木展開一系列的改善分析，後來每年淨賺 200 萬美元在此改善上。</p>
<p>產品回收 有些公司已發展出具成本效益的方式，來回收自顧客、通路體系之廢棄產品。藉由與產品設計者的合作及其它模式，供應鏈管理可以建立減少製造成本之回收方式。</p>	<p>Kodak's 公司目前回收 70% 已售出之產品。從此方案執行以來，超過 20000 萬台的 FunAsver 相機回收至 Kodak 的體系。Kodak 由回收再利用 77~86% 的相機材料減少營運成本，並克服相片處理器上之高經濟物質回收。</p>

對於國內案例而言，中技社與台大研究團隊曾對中鋼公司鋼鐵廠中的鐵與碳兩樣元素進行物質流分析。此鋼廠之物質流/元素流分析模式，是以 STAN 物質流分析軟體來建構，其可展示「圖型化」、「資料庫」、「多階層分析」等功能；後端平台亦可同時建立流向關係之資料庫，藉由系統頁面填入數據，能更精準扮演資源管理系統平台及決策支援角色，未來可標準化與系統化所有投入原物料的管理工作。

不過要運用物質流模式來模擬各種情境的變化，需要大量的精確數據與掌握各變數連動關係，此部分唯有與企業內部資源共同合作，方能發揮物質流分析成為重要決策工具之功能。因此，針對此研究方案提出未來鋼廠執行物質流分析計畫的方向參考。

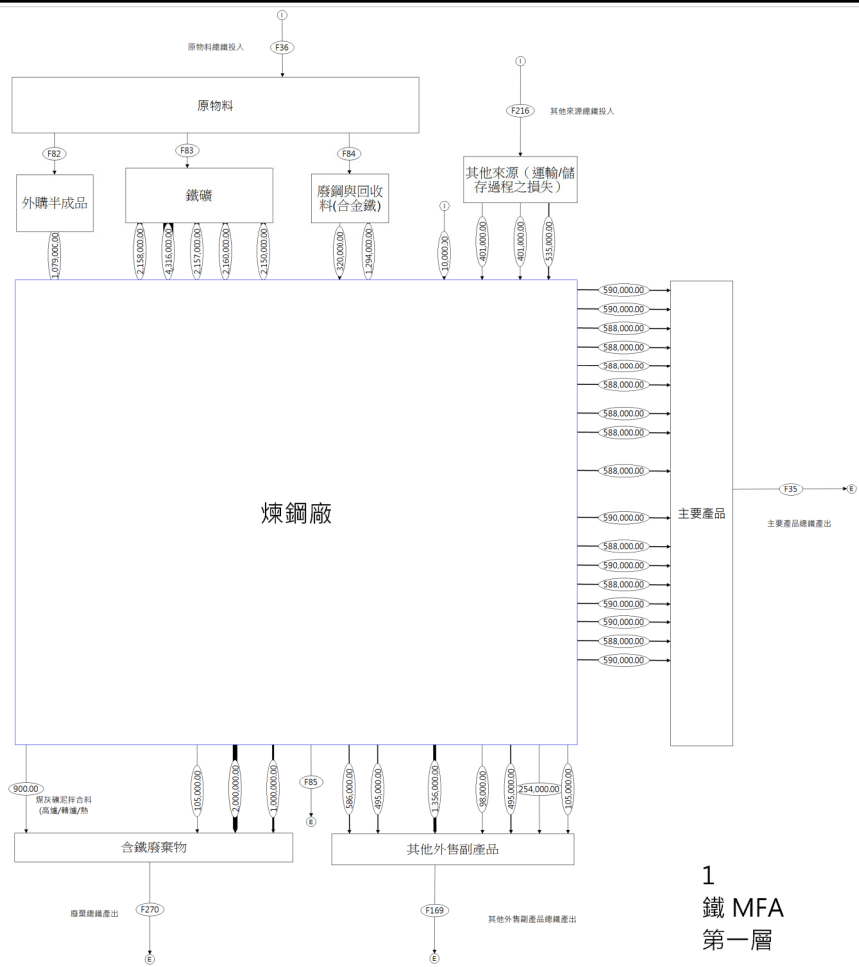
1. 增加資源性物質分析項目：可將其他在同樣架構下的資源性物質加以討論，盡可能地發揮鋼廠內物質流應用模式的功能性。
2. 將範疇擴及至企業集團：目前的研究範疇僅限於單一鋼廠區，建議物質流分析模式後續計畫，在範疇方面可持續開發以集團為範疇的評估模式作為後續的工作目標。
3. 物質流分析結合風險評估：建議可利用已完成的物質流分析模式結合風險評估工具，來檢視對於周邊環境影響之綜合評估。
4. 推動鋼品產業鏈物質流整合分析：可持續向鋼廠的上游(原物料/廢鋼等)及下游(鐵製品廢棄回收階段)，評估鋼廠所生產的鋼品在整個生命週期的資源利用情形，並彰顯鋼鐵生產的資源利用現況與其永續性。

透過 STAN 軟體，進行鋼鐵廠之多階層分析。第一階層的整廠範疇，主要為得到整廠的資源利用率，以及總產品與總廢棄或副產品等的佔有比例；而第二階層的製程範疇，則可區分各製程的物質流布狀況，以清楚物質關鍵流動的製程為何；而清楚關鍵流動的製程之後，可利用第三階層進行局部關鍵製程的管理，若有需要更細部分析的第四、五階層等，是可以依此原則建立。圖 28 為以鋼廠分析『鐵』元素流的 STAN 軟體之範例說明。同時針對兩階層(第一層：整廠視野、第二層：製程視野)可能可以獲得的訊息，說明可分析應用面向的建議。

各階層說明 STAN 『圖型化』 結果

第一層：整廠視野

- 主要產品與其他副產品產出鐵的比例（鐵原物料之利用率計算）。
- 廢棄總鐵產出的比例。
- 顯示各項目副產品產出鐵的比例，可擬定降低副產品產出鐵比例的優先改善方案。



第二層：製程視野

- 主要製程系統主產品鐵流動與其他鐵流動的各種比例，任何非主產品鐵的流動，都是增加成本的來源。
- 鑑別屬於廠內鐵循環再利用的各流向/流量，提出降低比例方案。
- 廢棄鐵的流向與流量確認，提出廠內循環再利用的改善方案。

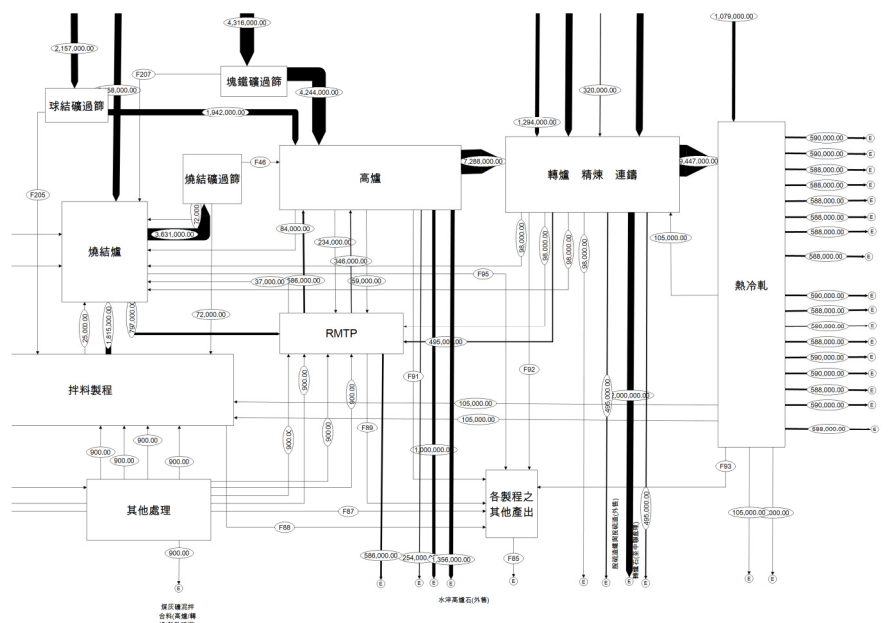


圖 28：鋼廠分析『鐵』元素流之 STAN 軟體範例

五、企業及產業物質管理優勢及效益

物質流管理可提供一評估方式，整合環境與經濟政策之問題並提供良好之決策基礎。此計算可幫助政策制定、企業管理等議題，並提出可行之解決方案。在檢視物質循環的同時，其亦能回答下列問題：

1. 所制訂的政策是否會與經濟成長及物質使用衝突？
2. 政策是否提供良好的企業產品設計，防止有害物質進入環境？
3. 生物可分解產品是否持續增加？
4. 自然資源轉換為消費產品的製造效率是否增加？
5. 何種自然資源進入經濟圈，其如何改變？

物質永續使用代表物質不再以傳統工業活動中開放式線性形態流動，而是以生態系統之觀念，使物質代謝構成一封閉式迴路，物質不以廢棄物方式離開系統，而是重新投入新的製程，使物質循環於人類活動之中，達到永續使用的目標。以生態理論應用於工業系統即為工業生態學之基礎概念，再擴展生物圈法則至經濟圈，分析兩者間物質流動之互動關聯，包括資源的使用與污染物產出等。物質流應用於工業生態學上之研究與實務層面包括以下幾類：

1. 物質與能量流研究(工業代謝)
2. 去物質化與去碳化
3. 人類技術改變對環境之影響
4. 生命週期為出發點之工業計畫、設計與評估
5. 節能設計
6. 生產者延伸責任
7. 生態工業園區
8. 產品導向之環境政策
9. 生態效益

由以上可知，物質流應用於企業及產業上有兩項特點：(1)著重於環境圈與經濟圈間之關聯，尤其是人類活動所造成之環境衝擊、(2)對物質的探討亦包含產品生命週期階段，而非僅污染物排放階段之環境危害。以永續物質管理角度而言，物質流分析(Material Flow Analysis)成為企業及產業層級中一項重要的分析應用工具。藉著物質流分析，我們可以鑑別各資源運用與污染物排出所造成之環境衝擊熱點，藉此了解提昇資源生產力與降低環境衝擊的方法，達到永續物質管理之目的。物質管理政策可整理如下表 22 所示。

表 22：物質管理各相關政策領域之應用

政策領域		應用層面	工具
經濟、貿易及技術發展政策	技術發展	<ol style="list-style-type: none"> 1. 評估物質利用效率。 2. 分析公共建設在新建、重建、維護、廢棄等階段之物質需求。 3. 評估經濟成長與直接、間接環境壓力脫鉤的程度。 	Physical I-O analysis 可相聯結的工具： 生產力評估
	貿易供給	<ol style="list-style-type: none"> 1. 監測國際物質流市場貿易及環境結構效益，及對環境造成重大影響的物質(如：有害物質、二次使用物質、可回收物質)。 2. 監測國際間物質流動對環境的影響，包括： <ol style="list-style-type: none"> (1)間接流的物質貿易對環境所造成的壓力、 (2)輸入物質對環境的重要性、 (3)物質國際運輸對環境的風險。 	EW-MFA PIO 分析 EIO 分析 可相聯結的工具： 產業關聯表 國際貿易統計 國際運輸統計
環境政策	污染預防控制	<ol style="list-style-type: none"> 1. 繪製營養鹽或污染物流動情形，瞭解其在環境之貢獻程度。 2. 評估物質開採及製造所產生的環境壓力現況，包括缺乏效率之生產、新研發技術、回收及再循環之改善。 3. 監控並瞭解物質未使用及隱藏流對環境所造成的影響。 	EW-MFA 元素流分析 (substance flow analysis, SFA) 物質系統分析及評估 可相聯結的工具： 廢棄物統計
	廢棄物管理	<ol style="list-style-type: none"> 1. 分析廢棄物產生趨勢，及如何影響： <ol style="list-style-type: none"> (1)資源保護、(2)資源生產力、(3)物質回收及再循環。 2. 評估物質活動的經濟成本與效益，並減少廢棄物的產量。 3. 評估回收及再循環物質的發展情況。 4. 廢棄物研究領域確認： <ol style="list-style-type: none"> (1)能源節約及回收、(2)物質循環、(3)替代物質、(4)新技術研發。 	區別主要、次要及回收物質 可相聯結的工具： 廢棄物統計 成本分析 模式分析
	產品應用	<ol style="list-style-type: none"> 1. 檢視產品組成物質的減量、替代及循環等，有助於物質在自然界中流布的機制。 2. 檢視產品環境衝擊，特別是有毒混合物質。 3. 探索產品設計對於最終廢棄階段的環境衝擊及因應的政策(如禁限用特定物質)。 	生命週期評估

物質流分析對於企業管理有許多優點，第一、物質流分析與管理有助於開發潛在的物質使用效率，意味著投入相同數量的能資源，其產品或服務的產出卻可以滿足更多需求，若世界上有更多的企業願意進行物質流管理，自然資源開發的壓力便可大幅減輕，留給未來的世代有更多資源使用之機會。企業應使用容易取得，而且成本較低之原料，生產的成本也因此降低。至於稀有的資源，由於價格高昂，採用提高物質生產力措施的同時，更能突顯物質管理所帶來的龐大效益。

第二，減少物質開採所造成的衝擊，包括環境衝擊與社會經濟衝擊。從生命週期的角度來看人類的工業活動，主要的環境衝擊來自礦物開採以及原料提煉的階段，造成高度的水污染、空氣污染，周邊土壤品質也惡化。聯合國工業發展組織指出，法規管理對於採礦產業管理的成效有限，遠遠不如對大規模產業以及能源部門的管理，因為礦業規模較小，容易在礦產存量耗盡後宣告破產，而留下惡化的環境，無力處理，許多美國的超級基金場址都是金屬採礦的遺址，遺留有毒重金屬於環境中，顯然這些環境整治的成本並未反應在原料的市場價格上。研究顯示，多數由資源回收再生之二級原料，其環境衝擊明顯低於採礦而來的初級原料。

第三、資源管理能有效節約能源，並減少溫室氣體排放。一般金屬部門都是能源密集性最高的部門，金屬資源回收能夠節省大量金屬冶煉加工所耗費的能源，估計各種金屬回收相較於初級冶煉所節省下的能源投入為：鋁 95%、鐵 74%、塑膠 80%、紙 64% 及玻璃 10%。

第四、增加物質效率的同時也有降低廢棄物產量之效果，減少掩埋場和焚化處理的需求，此外也減少廢棄物管理所需土地的使用和用水量，並減輕空氣污染，以及其他有害污染物的產量。已開發國家因工業生產導致大量固體廢棄物的產生，來自於採礦的殘渣、工業廢棄物以及家戶及辦公室所產生的垃圾，其中包含了許多工業化社會的產品。在英國，各產業部門的生產與消費貢獻了三分之一的固體廢棄物，其中 14% 來自工業，10% 來自商業服務業，9% 來自家戶，而 5% 來自水道清淤工程，採礦以及營建工程則貢獻了其後三分之二的廢棄物。

第四章 總結

透過物質流分析可檢視系統內部的物質流動分布，若是將物質流分析結合能源流分析、經濟分析以及消費導向之分析，則可應用於經濟活動管理。物質流同時可應用探討系統的去物質化與去毒化，所謂的去物質化是指增加物質的再生循環與使用效率，而所謂的去毒化是指減少物質流在各生命週期階段所排放的有害物質。物質流分析可以助於排列環境問題管理焦點的優先順序，並且導向去物質化與去毒化的策略，進而建構永續物質管理，使得物質在使用的過程中，不僅可以提升物質的使用效率，同時可以降低物質使用對於環境的衝擊。綜合以上，對於物質流而言有下列主要功能目的：

1. 用完整明確的物質流量與存量描述物質流系統。
2. 將物質流系統簡明化，以提供合理的決策基礎。
3. 在質量平衡的原則下，完整盤查目標物質的流量與存量。
4. 用明確、容易理解且有助於管理的方式呈現物質流系統。
5. 利用物質流分析資訊做為資源、環境、廢棄物管理的基礎。

物質流分析方法值得推廣，以作為企業、產業及國家環境管理之重要資訊。環境管理目標包括：(1)資源保育及降低消耗、(2)降低廢棄物產量及環境負荷。若欲達成上述目標，則需藉由分析、評估及管理物質及產品在人類活動中的流量及存量。正如一般會計有助於企業國家進行財務或財政管理，物質流分析方法可用來解析資源物質利用情形，並加以改善。

近年來資源永續循環利用，已成為全球高度重視的議題。隨著經濟與工業高度發展，自然資源不斷地大量耗用，在自然資源存量有限的情況下，未來將面臨各種自然資源耗盡的問題，因此，兼顧經濟與環境的平衡發展，減少自然資源的耗用，提高資源使用效率與資源生產力，已成為各國推動永續發展之重要課題。為平衡環境保護與經濟發展，建構一個永續發展社會，關鍵要素即為資源永續循環利用，因此應以物質流管理分析結果為基礎，做為資源與廢棄物管理之依據，並整合訂定整體永續物質循環利用政策。物質流分析亦適合檢視經濟體的物質循環狀況，此工具將有助於統整物質消費及使用效率等資訊，作為資源管理決策之依據，並且許多應用亦指出，產品設計及原料選擇對資源耗用與循環有重大影響，從長遠的角度來看，可提早發現未來的環境經濟問題可能由長期物質使用循環不佳所導致。因此，物質流分析適合作為資源管理決策重要參考依據，並導向製程效率改善及以落實資源永續使用。

歐美與日本等先進國家，皆已將永續物質管理納入各國之環境政策中。回顧國內，我國在廢棄物管理與資源回收相關制度與法規雖然已臻成熟，但仍缺乏國家整體資源有關投入產出資料之蒐集、彙整、統計及分析結果，因此永續物質管理資料庫之建置刻不容緩，資料庫將成為我國發展資源永續循環利用政策的關鍵基礎。

目前我國物質流管理面臨一個重要的問題，於欠缺指導資源物質管理之法規，對應之權責機關也尚未成型，導致在統整來自不同主管機關的資料物質流帳時，會因不一致之分類系統，增加分析的困難度與不確定性；其次，研究單位進行物質流分析時亦常受限於資料來源取得之困難，所採用的估算法方之缺乏一致性，可能致使資料結果與品質遭受質疑，因此需要建立物質流管理資訊應用的可信度。此外，隨著現今全球化之趨勢，物質流管理已成為國際間環境資源管理之重要趨勢，可惜國內在物質流之分析仍多關注國內的物質流，甚少探討全球化造成國際資源競爭的問題，會對我國資源經濟造成何種影響，以上限制，這些未來物質流管理有待發展突破之處。

物質流管理為宏觀之環境管理，除了學術界投入研究外，更需政府與企業界積極參與，透過政府、企業界與學術界之分工合作，方能提升資源循環再利用之效率，降低環境衝擊，朝永續發展之目標邁進。

參考文獻：

1. Allen, D., Material Flow Accounts: How they can be used as an information tool for the 21st century public policy., 2003
2. Brunner P, Rechberger H (eds.): Practical Handbook of Material Flow Analysis: CRC Press; 2004.
3. Brunner, P.H., Rechberger, H., Anthropogenic Metabolism and Environmental Legacies, in Encyclopedia of Global Environmental Change, Vol. 3, Munn, T., Ed., John Wiley and Sons, West Sussex, U.K., 2001, pp. 54–77.
4. Cencic, O.; Rechberger, H., Material Flow Analysis with Software STAN. Journal of Environmental Engineering and Management 2008, 18, (1), 5.
5. Hashimoto S, Moriguchi Y: Proposal of six indicators of material cycles for describing society's metabolism: from the viewpoint of material flow analysis. *Resources, Conservation and Recycling* 2004, 40(3):185-200.
6. ISO: Standardization of: ISO 14051. In: *Environmental management — Material flow cost accounting — General framework*. ISO/TC 207; 2010.
7. Lassen C, Hansen E: Paradigm for Substance Flow Analysis. In.:Danish EPA; 2000
8. Lettenmeier, Michael, Holger Rohn, Christa Liedtke, Friedrich Schmidt-Bleek, Katrin Bienge, Dafne Mazo Urbaneja, and Jade Buddenberg. Resource Productivity in 7 Steps: How to Develop Eco-innovative Products and Services and Improve Their Material Footprint. 41. Wuppertal Spezial, Wuppertal Institut für Klima, Umwelt und Energie, 2009. <http://www.econstor.eu/handle/10419/59292>.
9. Ma H-w, Matsubae K, Nakajima K, Tsai M-S, Shao K-H, Chen P-C, Lee C-H, Nagasaka T: Substance flow analysis of zinc cycle and current status of electric arc furnace dust management for zinc recovery in Taiwan. *Resources, Conservation and Recycling* 2011, 56(1):134-140.
10. METI, Ministry of Economy, Trade and Industry. Guide for Material Flow Cost Accounting. 2007.
11. OECD: Measuring Material Flows and Resource Productivity-Volume I. The OECD Guide. In. Edited by Derry Allen SB, Aldo Femia, Tomas Hak, Jan Kovanda, Yuichi Moriguchi, Heinz Schandl, Karl Schoer, Eric Turcotte, Aya Yoshida: OECD; 2008a.

12. OECD: Measuring Material Flows and Resource Productivity-Volume II. The Accounting Framework. In. Edited by Derry Allen SB, Aldo Femia, Tomas Hak, Jan Kovanda, Yuichi Moriguchi, Heinz Schandl, Karl Schoer, Eric Turcotte, Aya Yoshida: OECD; 2008b.
13. OECD: Measuring Material Flows and Resource Productivity-Volume III. Inventory of Country Activities. In. Edited by Derry Allen SB, Aldo Femia, Tomas Hak, Jan Kovanda, Yuichi Moriguchi, Heinz Schandl, Karl Schoer, Eric Turcotte, Aya Yoshida: OECD; 2008c.
14. OECD: Sustainable Manufacturing Toolkit - seven steps to environmental excellence. In.: OECD; 2011.
15. Standardization of: ISO 14051. In: *Environmental management — Material flow cost accounting — General framework*. ISO/TC 207; 2010.
16. Steurer A., Material Flow Accounting and Analysis: Where to go at a European Level., in Statistics Sweden (ed.), Third meeting of the London Group on Natural Resource and Environmental Accounting – Proceedings; 1996
17. Werinck IK, Irwin FH: Material Flows Accounts A Tool for Making Environmental Policy. In.: World Resources Institute; 2005.
18. UNEP: PRE-SME Promoting Resource Efficiency in Small & Medium Sized Enterprises Industrial traing handbook: United Nations Environment Programme; 2010.
19. UNIDO: CP Toolkit-Volume 3 Material flow analysis. UNIDO; 2011. http://www.unido.org/fileadmin/user_media/Services/Environmental_Management/CP_ToolKit_english/PR-Volume_03/PR-Volume_3.zip
20. Werinck IK, Irwin FH: Material Flows Accounts A Tool for Making Environmental Policy. In.: World Resources Institute; 2005.
21. 蕭登元，工業生態學中物質流系統之研究：以台灣地區砂石為例，國立臺灣大學環境工程學研究所博士論文，2003年。
22. 陳麗如，物質流：鎊在台灣生活圈中之流向與流量初探，國立臺灣大學環境工程學研究所碩士論文，2003年。
23. 陳必晟，台灣地區鎊之物質流分析與風險評估，國立臺灣大學環境工程學研究所碩士論文，2004年。

24. 李靜宜，物質流分析之資源生產力指標探討，國立臺北大學自然資源與環境管理研究所碩士論文，2005 年。
25. 林慶煌，家戶垃圾處理處置生命週期之物質流評估-以重金屬鉛、鎘為例，國立臺北大學自然資源與環境管理研究所碩士論文，2006 年。
26. 鄭建南，台灣地區民生用塑膠製品物質流分析，國立臺北大學自然資源與環境管理研究所碩士論文，2006 年。
27. 程沐鈞，台灣地區民生用金屬容器物質流分析，國立臺北大學自然資源與環境管理研究所碩士論文，2006 年。
28. 蕭伊君，應用物質流分析於事業廢棄物產出因子與其在查核管制之研究，國立台北科技大學環境規劃與管理研究所，2007 年
29. 翁婉珊，生質能之物質流架構研擬與探討，國立臺北大學自然資源與環境管理研究所碩士論文，2007 年。
30. 李淑莉，台灣地區燃煤發電廠含汞物質流布與管理之研究，國立台北科技大學環境工程與管理研究所，2008 年。
31. 蘇宏仁，台灣地區砷之物質流分析，國立臺灣大學環境工程學研究所碩士論文，2009 年。
32. 胡舒涵，應用投入產出分析探討廢棄物之物質流平衡關係，國立臺北大學自然資源與環境管理研究所碩士論文，2009 年。
33. 陳炯力，物質流分析應用於台灣薄膜液晶顯示面板之研究，國立台北科技大學環境工程與管理研究所，2009 年。
34. 何冠篁，台灣地區能源利用之物質流投入產出分析架構研擬與應用，國立臺北大學自然資源與環境管理研究所碩士論文，2009 年。
35. 張琪惠，台灣地區鉛之物質流分析與環境衝擊評估，國立臺灣大學環境工程學研究所碩士論文，2010 年。
36. 李健暉，台灣石化業之物質流分析，中原大學國際貿易研究所，2010 年。

37. 葉怡良，物質流分析之產出面向指標探討-以工業廢棄物產生量為例，國立臺北大學自然資源與環境管理研究所碩士論文，2010年。
38. 陳必晟、商能州、馬鴻文，物質流分析與企業環境管理，工業污染防治，第117期，153-173，2011年6月。
39. 李秀雯，以物質流方法探討臺灣含汞物質的管理，國立臺灣大學環境工程學研究所碩士論文，2012年。

國家圖書館出版品預行編目(CIP)資料

永續資源管理技術手冊 /馬鴻文, 鄒倫主編.

-- 初版. -- 臺北市:中技社, 民 102.12

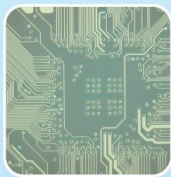
90 面 ; 21×29.7 公分-- (專題報告 ; 2013-05)

ISBN 978-986-88170-9-8 (平裝)

1. 環境保護 2. 自然資源 3. 手冊

445.99

102024813



財團 中技社
法人

CTCI FOUNDATION

106 台北市敦化南路2段97號8樓

Tel : 02-2704-9805~7 Fax : 02-2705-5044

<http://www.ctci.org.tw>



使用再生紙印製