

NAMI 低碳印刷業 可生物降解新材料

“ 全球氣候變化與工業文明發展的複雜聯繫已成為國際最為熱門的話題之一。可以肯定的是，以環境為代價的發展得不償失，人類活動所產生的溫室氣體，對氣候變化需承擔不可推卸的責任，如何做到減碳環保，是全社會都應參與的重要課題。近年來各國政府均開始提倡「碳中和」概念，香港特別行政區政府更為配合國家 2060 年碳中和的目標而發佈《香港氣候行動藍圖 2050》，當中制定了一系列目標，與各行業的發展息息相關。

小到產品設計，大到技術革新，添加低碳元素，無論在減少資源損耗、降低成本，還是提升產品形象等方面，都會給企業帶來不可多得的優勢。印刷及出版業是用紙大戶，與碳管理密不可分，而工業都需要能源進行生產。為達到碳中和目標，增加綠色能源和生物質原料使用比例，是各行業可持續發展的萬能公式。

生命週期計算碳足跡 量化排放減耗能

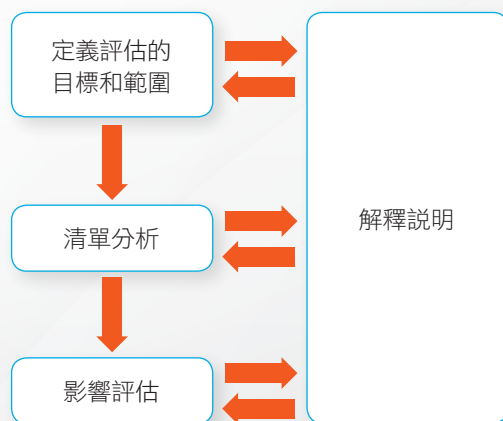
要達到碳中和目標，首先需要量化活動或產品的碳排放，而計算碳足跡可用來評估人類活動對生態環境的影響。碳足跡是總括某項活動或產品的整個生命週期中，直接或間接產生的溫室氣體排放量（見圖一）。生命週期評估（Life Cycle Assessment，簡稱 LCA）是對碳足跡系統分析的方法之一，評估對象不僅包括產品本身，亦包括開採加工、運輸銷售等服務系統，以及資源使用、人體健康和生態影響等環境衝擊。如今 LCA 的概念已經充分應用於環境管理當中，國際標準組織（ISO）制定了碳足跡標準



如 ISO 14067、ISO 14040，為量化製造產品過程中的溫室氣體排放提供標準，也有助企業認識並規避與氣候變化相關的商業風險，減少耗能又同時提升產品競爭力。

根據 ISO 14040 標準，生命週期評估分為四個階段（見圖二），分別是目的與範圍確定（Goal and Scope Definition）、清單分析（Inventory Analysis）、影響評估（Impact Assessment）及解釋說明（Interpretation）。第一步先**定義生命週期評估的目標和範圍**，使評估範圍與預期的應用一致。在第二步「**清單分析**」中，會編制與產品系統有關的投入產出清單，以便量化一個產品系統包括資源的使用，以及對空氣、水體及土地的污染排放等的資訊。第三步「**影響評估**」，會採用生命週期清單分析的結果，來評估與這些投入產出相關的潛在環境影響及設定比較的指標，例如全球暖化潛勢（Global Warming Potential，簡稱 GWP）等。最後「**解釋說明**」，將清單分析及影響評估所發現的與研究目的有關的結果合併在一起，形成結論與建議。

圖二 生命週期評估的四個階段



■ ISO 14040 標準中，生命週期評估分為範圍確定、清單分析、影響評估和解釋說明共四個階段。

創新綠色低碳材料

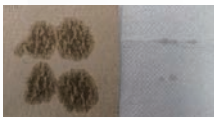
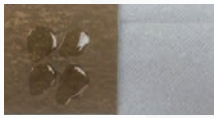
塑膠與生活息息相關，無處不在，印刷及出版業或多或少會用到塑膠，如部分黏合劑和加工紙等。塑膠大多是從傳統化石能源提煉而成，而且不能生物降解。塑膠製品生命週期的每個階段都會排放溫室氣體，61% 產生於塑膠生產和運輸階段，30% 產生於塑膠產品的製造階段，剩餘 9% 產生於廢棄物管理階段。為滿足全球脫碳的急迫需求，使用低碳原材料是第一步。一些研究 LCA 的相關文獻中，指出生物基以至生物降解材料在各項關於碳排放的指標中，比起從傳統石化能源所獲得的原材料更低。例如，PE、PP 和 PET 等傳統塑膠比可生物降解材料聚乳酸（PLA）的 GWP 高達 3.5 倍，可以說是相對環保，如加入其他生物基材料如植物纖維、植物蛋白、澱粉等，更能進一步做到減碳，因為這些材料的天然屬性決定了其本身是零總碳排放的。納米及先進材料研究院（NAMI）著力研發印刷及出版業可使用的材料，提供綠色低碳替代品。

天然配方 可生物降解黏合劑

書本無線裝訂最常用的黏結材料乙烯 - 醋酸乙烯酯（EVA）熱熔膠是一種從傳統石化能源所提煉的塑膠產品，不能生物降解。EVA 熱熔膠製備方法簡便，應用廣泛，能用於機械化包裝、家具製作、製鞋、無線裝訂、電子元件及日常用品黏結等。針對傳統熱熔膠不能生物降解的問題，NAMI 研發出一款環境友好型黏合劑，主要由生物基材料如大豆油、植物蛋白等合成，具生物降解性能。工藝上採用一般的常壓操作混合技術，合乎成本效益。合成出來的可生物降解黏合劑既能滿足傳統黏合劑的力學性能要求，又符合 RoHS 等安全標準。其軟化點與一般的 EVA 熱熔膠相若，能廣泛用於各種紙類，也可以結合 BOPP、BOPLA 等基材作膠紙使用。

應用到加工紙的 可生物降解防水防油塗料

加工紙用途廣泛，包括雜誌用的塗布紙、紙品外賣容器的淋膜紙等，體系中常包含 PP、PE 等不可降解的聚合物，冠名環保物料，如因此而用量大增的話，實則為後期回收或堆埋埋下隱患。以淋膜紙為例，其表面塗上塑膠的目的是為了防水防油。考慮到該應用層面，NAMI 研發了可替代傳統淋膜的可生物降解塗料，使用可生物降解材料作為基材，可以滾塗或噴塗方式附上紙製品，不用在製紙過程中加入助劑，都能達到防水防油效果（見下表）。如透過噴塗方式應用的話，更能應用到 3D 紙製品上。塗料所具備的可印刷性能，也使其能夠應用到雜誌紙等加工紙產品上。原材料低碳環保，整個產品最後亦能達到可生物降解。

熱水	熱油
 沒有塗料	 沒有塗料
 使用 NAMI 塗料 （水沒有滲透）	 使用 NAMI 塗料 （油沒有滲透）

可生物降解材料的 廢棄物管理階段與認證

除了生產過程外，整個碳足跡的計算也包含產品使用後處理方法的碳排放。在廢棄物管理階段，如能把可生物降解產品轉廢為能，更能善用其剩餘價值，減少碳排放。堆肥或填埋的生化處理方式，使得可生物降解塑膠具有比焚燒普通塑膠更低的碳排放。在降解過程中收集的生物氣能作能源使用。而生物氣的產能是受生物降解性影響，生物降解程度與每單位有機碳轉化成生物氣的產量有正比關係。換言之，生物降解性能越好，轉廢為能的效果越高。

生物降解性是指需要通過標準化測試，測量材料在特定時間和條件下，最終被微生物和酶催化分解成二氧化碳、甲烷等有機物的總量。常用認證生物降解性的國際測試方法有 ASTM D5511、ASTM D5338 和 ISO 14855 等。以 ASTM D5511 為例，目標是測試在高固體厭氧條件下，塑膠材料的厭氧降解程度和速率。而 ASTM D5338 和 ISO 14855 目標則是測試在堆肥環境下，材料中至少 90% 的有機碳，能否在 180 天內轉化為二氧化碳和水。而這兩個測試方法已在申請生物降解認證如 ASTM D6400 和 EN13432 中列明。

展望

隨著原化石燃料供應和全球氣候議題的升溫，低碳新材料的研究和開發勢必會成為熱門課題，基於可再生資源的可生物降解材料也被視為傳統原料的替代品，將會在眾多領域廣泛應用。NAMI 開發的可生物降解黏合劑和加工紙製品用防水防油塗層料，為減少印刷製品污染物和碳排放提供了有效的替代方案，也因為優良的物化特性，使其還可應用於個人護理和衛生用品、餐具和食品包裝等多個領域。NAMI 致力於將科學研發成果商品化，期望與本地業界合作夥伴共同努力，為行業提供低碳環保的創新材料研發思路和生產合作細節。■