

計畫名稱：節能綠色吸附材料關鍵元件及設備技術開發計畫(2/3)

主題：揮發性有機化合物污染控制技術之市場評析

1. 簡介:

揮發性有機化合物 (VOCs) 是在常溫常壓下容易蒸發的有機物質。根據世界衛生組織的定義，VOCs 是一般指熔點低於室溫且沸點介於 50°C 至 260°C 之間的有機化合物。VOCs 不僅有高度毒性會導致嚴重的人類健康問題，如皮膚過敏和刺激，癌症和呼吸系統疾病，還會促成區域大氣化合物污染，因為 VOCs 在形成對流層臭氧和次生有機氣溶膠中扮演關鍵前驅物的角色。在過去幾十年中，人為源 VOCs 污染已成為城市地區的一個重大環境問題。因此，包括測量技術、化學機制、反應性質、排放清單健康風險評估和去除技術對全球 VOCs 的研究發展領域至關重要。

然而，VOCs 污染仍然非常嚴重，且人為排放佔比依然很高，與主要大氣污染物如氮氧化物、二氧化硫和顆粒物相比，對於 VOCs 管理的成熟度仍然不足。VOCs 控制困難主要有兩個原因：一是由於 VOCs 的種類和來源多樣性，VOCs 排放很難收集和監測，另一個原因是實際的 VOCs 處理技術去除效率不高，因此需要改進 VOCs 控制技術，並對 VOCs 的控制與管理現狀、問題和未來發展空間進行全面檢討。

專利數據被廣泛應用於技術評估和預測，如工業廢水技術、堆肥技術、光伏技術和低碳技術。然而，專利數據很少應用於 VOCs 領域分析。經由文獻調查發現，只有韓國 1989 年至 2007 年的專利數據被用於研究 VOCTs。與此同時，大多數關於 VOCTs 的現有概述文章都是基於特定技術的機制和效果。例如: Lou 等人討論了非貴金屬催化劑的特性和影響其催化性能的因素，並得出了制備方法、改性技術和載體材料將是未來研究的重點; Gan 等人藉由討論膜分離揮發性有機化合物的機制、因素和當前應用狀況，認為促進聚合物和多孔材料在最有前途的揮發性有機化合物分離膜中的相容性和分散性至關重要; Wu 等人總結了生物滴濾過濾器的設計、機制和常見分析方法，並展示了操作條件、質量傳遞、填料材料和微生物對提高生物降解的去除性能至關重要。然而，缺乏對多種 VOCTs 技術的定量分析和比較。VOCTs 包括數百種技術，如催化燃燒、臭氧催化氧化、等離子體、光催化分解、熱焚燒、生物降解、冷凝、吸附、吸收和膜分離等。可以看出大多數現有的評論都是基於技術的微觀操作，並未以宏觀的方式進行技術預測和比較。

本文中比較了特定 VOCTs 的時空演變，從全球專利創新體系的角度揭示了 VOCTs 的演變和知識傳播情況，填補了在 VOCs 專利計量方面的研究空白。基於專利探勘，揭示技術的過去發展和技術特性

隨時間的變化。基於轉移指標，研究技術的地理分布和目前的國際傳播，以發現具有國際關注的技術。基於共詞分析，解釋現在技術之間的聯繫。基於技術生命周期分析，預測未來的技術趨勢。

2. 數據收集與方法

技術轉移是技術創新文獻中的熱門話題。專利的轉讓說明了優先國與受讓方之間的關係，並展現不同國家在技術發展中所扮演的角色。本文從全球角度衡量技術轉移，設計了一些指標來描述國家之間 VOCs 控制技術(VOCs control Technologies, VOCTPs)的轉移。NOAP 指標是申請專利的數量。轉讓專利數量 (number of transferred patents, NOTP) 指標被定義為空間轉讓專利的數量，其在優先申請信息領域 (priority application information and date, PI) 的國家與發布號領域 (publication number, PN) 的國家不同。PI 是來源國，PN 是目標國。

國家轉讓比率 (national transfer ratio, NTR) 被用來衡量一個國家專利的質量。這個指標是特定國家 NOTP 與 NOAP 的百分比。一個國家中較高的 NTR 表示該國家的專利更多地進入其他國家的專利市場，暗示該國家的專利質量通常較高。

技術轉讓比率 (technology transfer ratio, TTR) 被用來衡量某種技術的國際需求。這個指標是特定類型技術的 NOTP 與全球 NOAP 的百分比。技術的較高 TTR 表示其國際需求較大。而某類技術的較大

NOAP 則意味著其發展較成熟，因為揮發性有機化合物控制技術專利的發展至今尚未進入衰退階段。

為了揭示技術發展的當前階段並預測專利申請的未來趨勢，在揮發性有機化合物控制技術領域，我們使用 S 曲線模擬了技術生命週期曲線。1966 年，Vernon 於 1966 年首次提出了技術生命週期理論，1986 年 Foster 將 S 曲線引入了技術生命週期分析。S 曲線可以分為兩種類型。一種是 Gompertz 曲線，這是一種不對稱的曲線，受過去因素影響。另一種是 Logistics 曲線，這是一種對稱的曲線，同時受到過去和未來因素的影響。本文選擇 Logistics 曲線進行技術生命週期分析。

3. 結果與討論。

申請專利數量（number of application patents, NOAP）代表社會對技術的關注。VOCTPs 的申請趨勢和發展階段受多種因素影響，例如經濟發展水平和國家對環境保護的重視。其中，環境政策和環境公約是不容忽視的因素。根據 NOAP 的大小和趨勢將 1961 年至 2018 年分為 3 個時期。

萌芽期（自 1961 年至 1999 年）是 VOCTPs 發展的初期階段。當時大多數專利來自美國，美國是最早研究有毒有害空氣污染物的國家之一。在此期間，VOCs 治理政策也主要來自美國。1984 年，美國環

保署 (the United States Environmental Protection Agency, USEPA) 將「有毒化學物質污染和公共衛生問題」列為各種環境污染問題的首要問題。隨後，USEPA 宣布了 21 個工業污染點源，包括化學製造、油漆、墨水、粘合劑製造等，以及一份包含 65 種有毒污染物的名單，其中包括 30 多種 VOCs。1990 年，美國清潔空氣法 (Clean Air Act, CAA) 在第 112 條中提出了 189 種有害的有機污染物，並提出了從工業區域和汽車中減少 VOCs 排放的兩步驟控制策略，要求未達標臭氧濃度的地區提交 15% 的 VOCs 減排計劃。政策和技術的結合導致了美國 1990 年至 2005 年 VOCs 排放的 55% 減少。此外，歐洲也開始關注 VOCs 污染。1991 年由歐洲經濟委員會促進的「控制揮發性有機化合物排放的議定書」簽署。1996 年歐盟發布了「關於綜合污染預防和控制的 1996/61/EC 指令」，為 VOCs 制定了排放標準，涉及石油精煉、有機化學、精細化學、儲存、油漆、皮革加工等 6 個類別和 33 個子部門。1999 年，由 UNECE 促進的哥德堡議定書簽署，涉及 VOCs 排放的減少。1999 年歐盟限制 VOCs 排放，為 20 種有機溶劑使用設施和相關活動制定 VOCs 排放濃度限值，減少 VOCs 排放。

發展期 (自 2000 年至 2013 年) : NOAP 呈現中等速度和波動增長，平均每年增長 7.62 個專利，專利主要來自美國、日本和韓國。與此同時 VOCs 治理政策不斷成熟。2000 年，世界衛生組織 (World

Health Organization, WHO) 發布了三種 VOCs 的指導限值：甲醛、二甲苯和對二氯苯。2001 年，歐洲議會和理事會通過了有關評估某些計劃和項目對環境影響的指令 2001/42/EC，為建築和汽車等特定用途的油漆排放的 VOCs 濃度設定了限值。2005 年，日本實施了《大氣污染防治法》，該法案提出基於 2000 年基準，到 2010 年要減少來自固定源的 VOCs 排放量 30%。2012 年，聯合國歐洲經濟委員會修改了哥德堡協議，修訂了來源不同的 VOCs 排放濃度限值，改進了 VOCs 測量方法、溶劑管理計劃和排放核算指南。

擴張期（自 2014 年至 2018 年）：NOAP 快速增長，平均每年增長 133.50 個專利。由於這段時期的大多數專利來自中國，爆發性的增長與中國近年來對 VOCs 治理的熱情密切相關。2012 年，中國政府發布了《空氣污染防治重點區域“十二五”計劃（2011 - 2015）》，從此開始啟動 VOCs 監測計劃，VOCs 處理逐漸進入政府的視野。2013 年中國國務院發布了《空氣污染防治行動計劃》，對 VOCs 治理提出了具體要求。同年，中國生態環境部發布了《揮發性有機物污染治理技術與政策》。2014 年，石油化工行業的 VOCs 管理得到全面啟動，主要推廣的控制技術是泄漏檢測和修復（leak detection and remediation, LDAR）。2015 年中國全面啟動了包裝和印刷行業的 VOCs 治理，主要控制技術是吸附轉子再生催化燃燒。同年，發布了《大氣揮發性有

機化合物源清單技術指南》。2015 年 8 月修訂版《大氣污染防治法》發布，新增了四項有關原料、加工和產品使用方面的 VOCs 控制法律條款。2017 年，中國生態環境部發布了《揮發性有機化合物防治“十三五”計劃(2015 - 2020)》，目標將減少 VOCs 排放量達到目標的 10 %。

基於專利探勘，我們篩選出了上述三個時期內專利的關鍵詞。我們結合詞頻和關鍵詞出現在專利中的數量，選擇了每個時期的前 15 個關鍵詞。在成長期（1961 年至 1999 年），對於 VOCs 的研究主要與其他化學產品的研究相關，因為關鍵詞如烷基、環烷基和烯烴主要是與有機物生產相關的原材料化合物。在發展期(2000 年至 2013 年)，更多的專利關注 VOCs 的去除，但這些關鍵詞並不特定於 VOCs，例如過濾和吸附，因為一些關鍵詞包括「過濾介質」、「活性炭」和「吸附劑」。這個時期對於 VOCs 來源的了解更加豐富，關鍵詞中添加了「油漆成分」和「顏料成分」，包括了油漆和顏料在有機溶劑和塗料之外。在擴展期（2014 年至 2018 年），專利報導了更多有針對性的去除技術，如光催化、催化氧化和生物處理。

以上是一般 VOCTPs 的歷史，但對特定技術細節的歷史仍無法清楚理解，因此有必要研究歷史技術特性。透過專利探勘，我們將 VOCTPs 分為三個層次。在第一層次中，末端排放專利最多，佔比 38

%。此外，源頭控制是基於使用和改進 VOCs 原材料的潔淨生產，而過程控制主要基於污染物的檢測和監測，以及 LDAR。在第二層次中，回收技術的專利多於末端排放的破壞技術。更多回收專利的的原因之一是，在實際的工程應用中，回收技術可以為破壞技術提供分離和純化，因為破壞技術對廢氣的濃度和組成有一定要求。因此，破壞技術通常需要與回收技術一起使用，而後者則可以獨立使用。

在第三層次中，生物降解技術在破壞專利中佔顯著地位，其快速增長早於其他技術。它在 2000 年達到每年 15 件申請數量，而其他技術在 2015 年達到此數量。生物降解主要利用微生物將廢氣中的有機物分解為 CO₂ 和水，其去除率為 60-99%。生物降解之所以早期發展有兩個可能原因：低成本、低能耗、高可持續性，以及在廢水處理領域的基礎。催化燃燒其去除效率較高適合去除高濃度的 VOCs。然而，催化燃燒的缺點是成本高且氣體收集困難。

吸收和吸附技術最為突出，專利數量最多。吸收具有佔用空間小、同時去除 VOCs 和顆粒物、傳送效率高、反應原理簡單等優勢。吸附具有設備簡單、技術成熟、進行研發的門檻相對較低等特點。這兩種技術都可用於富集和濃縮 VOCs，因此其專利數量明顯多於其他恢復技術。然而，它們的實際去除效率較低，有時僅約 20%，這也是它們通常不單獨使用的原因。此外，膜分離技術的專利較晚出現，NOAP

仍然每年只有單位數。由於有機氣體的膜分離恢復技術在 2000 年後才逐漸發展，其研究仍處於初級階段，包括操作環境的困難和對膜材料耐性的高要求。但由於巨大的工業需求，預計 VOCs 分離將成為膜分離技術的一個有吸引力的應用領域。

最典型的需求導向技術是膜分離技術。雖然它的 NOAP 僅為 21，但在國際間的轉移方面非常活躍，其 TTR 達到了 47% 的最高值。這表明膜分離技術的發展水平在各個國家之間差異很大，國際間對膜分離轉移的需求也非常高。據此，膜分離是一個具有研發潛力的新興技術。

從專利轉移的經濟角度來看，國際上對膜分離技術需求旺盛，有三個利潤的決定因素：(1) 來源國內的競爭情況。如果技術創新在來源國具有很高的供應潛力，技術市場競爭激烈，那麼在來源國內獲取專利並不容易帶來更高的經濟回報。(2) 目標國家的預期收益，即目標國家對特定技術市場的吸引力。(3) 轉移成本。這些成本包括在外國申請專利的成本和維護成本。

在所有 VOCTs 中，清潔生產的研究挑戰是來源控制（基於技術生命週期分析），因為這需要與其他專業領域和變革性技術相結合，如材料的開發和替代。清潔生產需要變革性技術。對於單一技術而言，我們推測膜分離是未來最有前途的技術。這是因為，一方面，膜分離

的國際轉移專利數目目前很小，另一方面，該技術在國際間的轉移非常活躍。此外，在未來人口密度較低的國家，生物降解也具有很大的潛力。對於結合技術，本文推測吸附加催化燃燒是現在和未來集中處理工業廢氣最有效的技術。因為除了基於原則高度相關的技術外，吸附加催化燃燒在結合技術中的專利數目最多。

4. 結論

透過專利探勘和技術市場分析，探討 VOCTs 的演進，進而揭示在節能方面的創新潛力，深入瞭解技術發展趨勢有助於開發更具能源效益的污染控制方法，實現環境保護與節能的雙重目標，本文結論彙總如下：

- (1) VOCTs 正處於從擴張到成熟的過渡階段，目前研究重點仍在末端技術，挑戰在於使 VOCs 達到清潔生產的來源控制。
- (2) 吸附和吸收是最成熟技術，應用最廣泛，分別佔末端處理專利的 26% 和 25%。
- (3) 生物降解和膜分離是有潛力的方向，美國在在生物降解、膜分離之國際專利中有絕對優勢，惟目前應用較少。

儘管有先前的研究支持本文的結論，但目前沒有任何研究使用全球專利的大數據基礎，以定量方法分析所有 VOCs 治理技術並得出科學結論。本研究的發現可以為 VOCTs 的發展提供方向以及替 VOCs

的監管政策制定者提供依據。此外，有關 VOCTs 演變和跨國傳播的文獻，有助於幫助政策制定者、學者和企業經理更加了解未來研究方向以及國際市場的需求。

主要參考 資料來源	Journal of Cleaner Production Volume 379, Part 2, 15 December 2022, 134760 https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652622043323
--------------	--