

資源復活 傳說對決

涂茂園、陳朝鈺

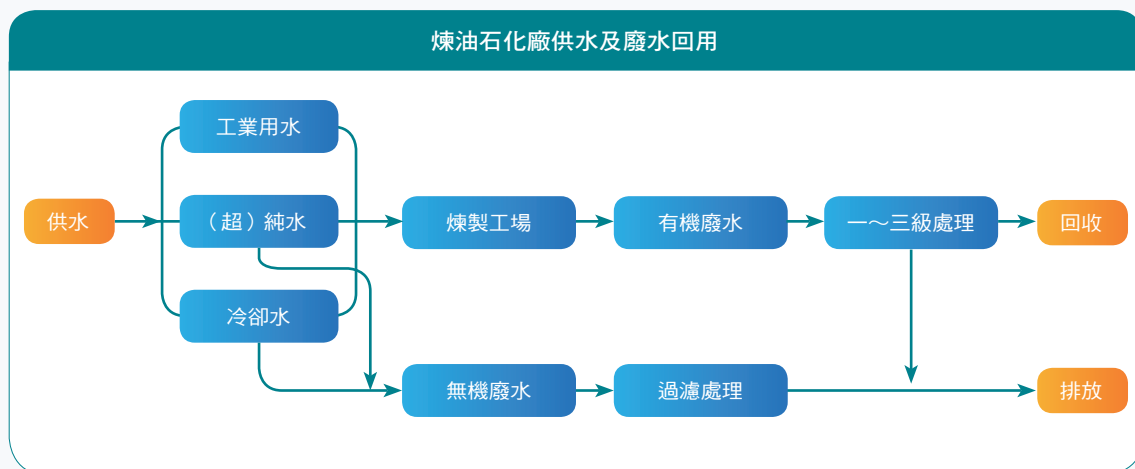
所謂循環經濟也就是儘量使原物料資源化，煉油石化業在環保方面著重的資源化回收標的包括廢水、揮發性有機物（油氣）、鋰電池、二氧化碳等。

廢水回收

廠區供水系統 依用途分為工業用水、純水及冷卻水，在代表性煉油石化廠中，上述 3 種用水分別約占 10、30 及 60%。工業用水用於消防、綠化、油槽與設備清洗試壓、工場洗滌等。純水用於送入鍋爐產生蒸氣，高壓蒸氣用於推動發電機產生電力或渦輪壓縮機產生動力；中壓蒸氣用於熱交換、油料霧化、真空抽氣等；低壓蒸氣用於管線加熱保溫、除焦、脫氣等；蒸氣使用後部分經冷卻進入冷凝水回收系統。

冷卻水用於移除製程流體多餘的熱量，使各分流液體或氣體溫度達設計值，以利反應分離提高產品產率與品質。冷卻水經風扇抽引冷風，使水蒸發而降溫再循環使用。

枯水期常出現乾旱現象，季節性缺水對需水量大的煉油石化廠造成困擾。因此除了善用節水措施外，也需考量廢水回收再利用以減輕仰賴外界供水的壓力。



季節性缺水對需水量大的煉油石化廠造成困擾，因此除了善用節水措施外，也需考量廢水回收再利用。

廢水管理 回收需先做好廢水分類分流管理，也就是把含鹽類較多的無機性廢水如來自冷卻水塔濃縮排水及製造純水離子交換樹脂的再生中和廢水，收集經過濾去除懸浮固體；而把含化學需氧量較高的有機性廢水如各煉製工場的製程廢水，收集利用一級、二級與三級處理。

回收技術 煉油石化製程廢水主要含有油、懸浮固體、溶解性有機物及無機鹽類。處理方式依序是：一級處理先利用油水分離器使油滴上浮回收成廢油，接著利用溶氣浮除，添加藥劑使懸浮固體及殘留油滴產生化學膠羽，容易附著氣泡上浮而刮除成浮渣；二級處理利用微生物分解溶解性有機物降低化學需氧量；三級處理先利用超濾薄膜去除大小約數個微米的微生物及膠體，接著利用逆滲透去除無機鹽類，回收水當作製造純水的進料水，回收率約 60 ~ 70%。

揮發性有機物回收

揮發性有機物的定義 指在 1 大氣壓下，測量所得初始沸點在攝氏 250 度以下

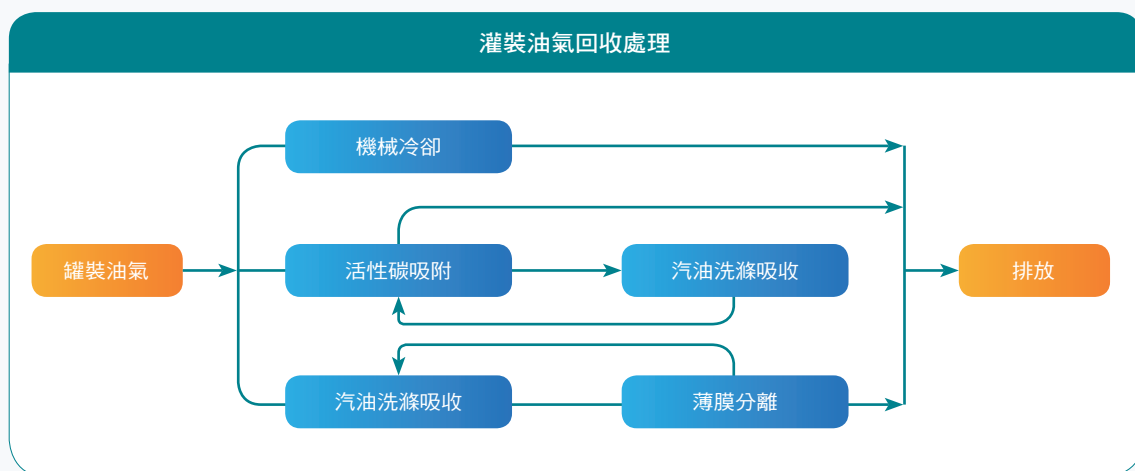
有機化合物的空氣污染物總稱，但不包括甲烷、一氧化碳、二氧化碳、二硫化碳等。

管制法規 對象包括揮發性有機液體裝載操作、揮發性有機液體儲槽設施、石化製程使用的廢氣燃燒塔、石化製程的設施排氣及設備元件（如泵浦、壓縮機、閥件、管件等）。排放濃度是以攝氏 0 度及 1 大氣壓下未經稀釋的乾燥排氣體積為計算基準，換算為甲烷當量而單位以 ppm 表示。

要求標準以揮發性有機液體（如汽油）裝載操作設施為例，應以收集系統連通至鍋爐、加熱爐或其他破壞性設施，使削減率達 90% 或排放濃度 200 ppm 以下，或連通至非破壞性回收處理設施，使削減率達 85% 或排放濃度 300 ppm 以下。

回收技術 汽油裝載作業排氣濃度約 250 ~ 300 萬 ppm 甲烷，含量高低依次是四個碳 C4、五個碳 C5、六個碳以上 C6+，也含少量三個碳 C3 及二個碳 C2，其他則是空氣。業界通常採用的回收處理方式簡述如下。

機械冷凝—利用冷媒依序產生攝氏 -3 度、-25 度、-40 度、-80 度四段不同溫度



雖然鋰電池不含鉛鎘汞等毒性高的重金屬，
但考量環境及資源面，回收處理鋰電池有其必要性。

的工作流體，並送入冷箱熱交換器，使油氣依碳數的高低在不同的冷箱冷凝，回收液體混合後再混入汽油中。

活性炭吸附—油氣經活性炭吸附後排放，活性炭飽和時利用真空幫浦使吸附床降低壓力使碳氫化合物脫附，抽出的濃縮油氣再經洗滌吸收塔使油氣溶入汽油中，洗滌吸收過程中產生的含油氣排氣再送回活性炭吸附。

薄膜分離—油氣先加壓經洗滌吸收塔使油氣溶入汽油中，無法被吸收的油氣經薄膜擴散，但空氣不會通過薄膜。另一端利用真空幫浦增加薄膜兩端壓力差，以利碳氫化合物的擴散分離，而真空吸出的濃縮油氣送回洗滌吸收塔。

鋰電池回收

國內電動車政策 在 2030 年公務車及巴士全面使用電動車，在 2040 年禁售燃油車。未來最終淘汰的動力鋰電池會逐年增加，雖然鋰電池不含鉛鎘汞等毒性高的重金屬，但考量環境及資源面，回收處理鋰電池有其必要性。

回收目標及技術 針對有價金屬如鋰、鈷、鎳、錳、銅、鋁、鐵等，回收技術分為乾式及溼式。乾式技術是把電池熱處理燒除有機材質、破碎篩分及磁選，對金屬分類再經高溫使金屬氧化還原形成蒸氣冷卻收集而回收有價金屬。溼式技術把電池拆解破碎分類，利用化學藥劑使金屬選擇性溶出，再經離子交換、沉澱或電解進行濃縮分離。

先進國家的做法 德國依歐盟電池回收指令（2006 / 66 / EC）要求生產商、銷售商、回收商及消費者都負有相對應回收

各種正極材料所組裝成不同鋰電池的有價金屬含量估計

正極	鎳鈷鋁	鋰錳	鎳錳鈷	鋰鈷	磷酸鋰鐵
鋁 (%)	21.9	21.7	22.72	5.2	6.5
鈷 (%)	2.3	0.0	8.45	17.3	0.0
銅 (%)	13.3	13.5	16.6	7.3	8.2
鐵 (%)	0.1	0.1	8.79	16.5	43.2
鋰 (%)	1.9	1.4	1.28	2.0	1.2
錳 (%)	0.0	10.7	5.86	0.0	0.0
鎳 (%)	12.1	0.0	14.84	1.2	0.0

Kevin M. Winslow Steven J. Laux Timothy G. Townsend, "A review on the growing concern and potential management strategies of waste lithium-ion battery ", Resources, Conservation and Recycling, vol. 129 , pp 263-277, 2018

的責任，並成立歐洲最大鋰電池回收組織由 GRS 基金負責運轉，在 2010 年開始回收工業用電池，未來也把車用動力鋰電池納入回收體系。

日本政府於 2000 年要求生產商回收鋰電池並給予補助，回收材料送回生產商再利用，企業也積極參與回收活動。

美國立法管制並輔導電池的回收，在業界成立美國可充電電池回收公司及美國便攜式可充電電池協會，制訂回收計畫措施、回收教育宣導、促進工業用電池的循環利用。

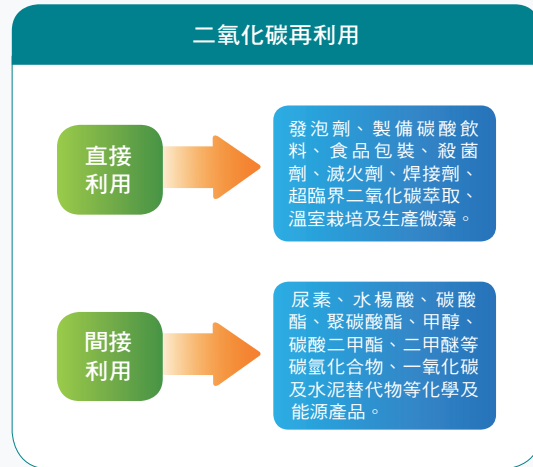
二氧化碳再利用

自從聖嬰現象與反聖嬰現象日漸明顯，溫室氣體排放造成全球暖化與氣候劇烈變化的影響已毋庸置疑。近年來，各國分別訂定溫室氣體排放減量的目標。在2015年6月15日立法院通過的「溫室氣體減量及管理法」中，明訂國內須在2050年把溫室氣體排放量降至2005年（約2.45億公噸）的一半。因此，二氧化碳減量是急需投入的工作。

二氧化碳減量的方式可分為以節能為手段的源頭減碳與以捕集方式減少二氧化碳的排放，由於捕集成本高，工業上仍以節能的手段為主。各國研究單位正努力降低捕集成本的研究，捕集後的二氧化碳則需以封存、再利用等方式處理。

在能源國家型計畫的減碳淨煤中心計畫願景中提及，對於二氧化碳的再利用可分為直接利用和間接利用。直接利用包含發泡劑、製備碳酸飲料、食品包裝、殺菌劑、滅火劑、焊接劑、超臨界二氧化碳萃取、溫室栽培、生產微藻等方面；間接利用主要是轉化為尿素、水楊酸、碳酸酯、聚碳酸酯、甲醇、碳酸二甲酯、二甲醚等碳氫化合物、一氧化碳、水泥替代物等化學及能源產品。茲把國內、外二氧化碳產業利用案例概述如下。

國內相關案例包含利用煉油廠產生的二氧化碳，經純化處理後出售，直接應用於鑄造、飲料、滅火器、醫療等產業；利用乙二醇生產環氧乙烷，再利用環氧乙烷與二氧化碳反應生成碳酸乙烯酯，並用以生產聚碳酸酯。聚碳酸酯是一種透明工程塑料，具有良好的阻燃、耐高溫等特性，



可作為建築板材、汽車零件、醫療器材、光學透鏡、光碟等材料。

其他包括提出新的二氧化碳碳源的聚碳酸酯製程，使二氧化碳與醇類反應生成二烷基碳酸酯，再利用二烷基碳酸酯製備聚碳酸酯，這製程較舊製程節能；把二氧化碳引入焦碳的氯化爐生產一氧化碳，再與甲醇反應生產醋酸；應用於食品添加，或生產乾冰、飲料及養藻。

國外的應用案例中包含利用二氧化碳製造多元醇及聚氨酯、推出聚碳酸酯的多元醇產品、發展以二氧化碳為原料的塑膠顆粒、建造二氧化碳生產甲醇的商業化設備等。依據材料最前線報告，二氧化碳轉化為甲醇的技術較成熟，市場規模大，有相當的可行性。

諾貝爾化學獎得主喬治·奧拉在《跨越油氣時代：甲醇經濟》一書中提及零碳排

二氧化碳減量的方式可分為以節能為手段的源頭減碳與以捕集方式減少二氧化碳的排放，由於捕集成本高，工業上仍以節能的手段為主。

放的甲醇循環，利用太陽能、風能等再生能源電解水產氫氣，藉由氫氣與二氧化碳反應轉化為甲醇，再透過甲醇轉化烯烴技術生成烯烴產品；或藉由甲醇轉化芳香烴技術生成芳香烴產品。此外，也可以甲醇為原料，藉由費托合成（Fischer-Tropsch）反應生成液態碳氫化合物燃料。

二氧化碳已經在製備化學品及燃料中有了應用，這些大部分是二氧化碳和氫氣的反應，因此化學品和燃料的生產非常有限，而且需要克服高成本的氫氣，才能達到作為便宜、豐富和無毒原料的二氧化碳

使用的經濟可行性。未來在技術開發的同時，可建構二氧化碳利用的商業模式，藉由商業模式才能更加提升二氧化碳利用的商業價值。

涂茂園

台灣中油公司煉製研究所環境資源組

陳朝鈺

台灣中油公司煉製研究所製程研究組

深度閱讀資料

<http://www.nepii.tw/language/zh/主軸中心/減碳淨煤主軸中心/>。

王允欣（2016）二氧化碳捕獲及再利用的發展契機，材料最前線，12月12日。

