

臭氧層保護在臺灣 電子報



目錄

✿ [新研究指出四氯化碳為臭氧層早期破壞元凶](#)

✿ [全球溴化甲烷管理持續推進](#)

✿ [全球海龍庫管理與需求推估](#)

✿ [我國HCFCs消費量與使用量消費量統計分析](#)

✿ [我國溴化甲烷使用統計分析](#)

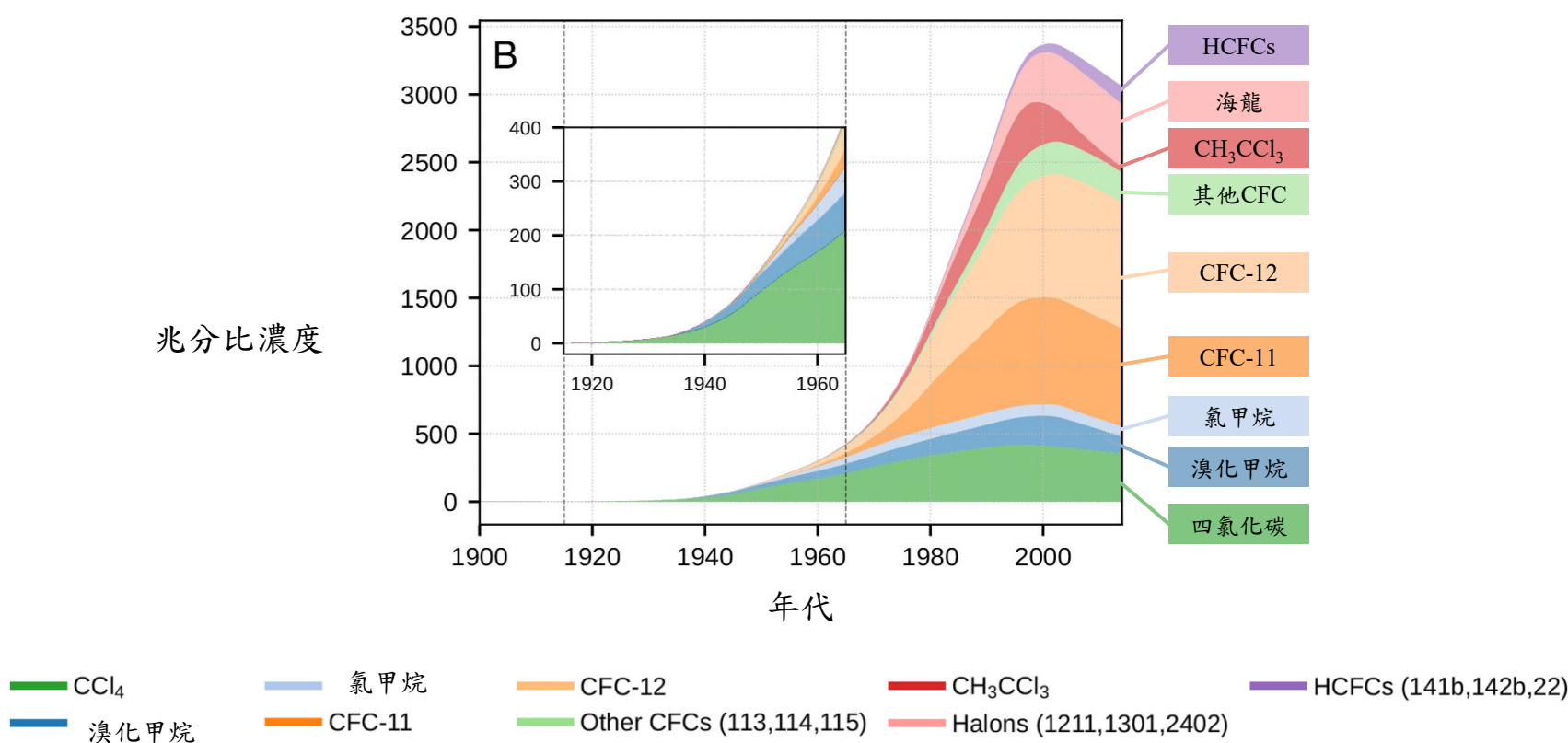
新研究指出四氯化碳為臭氧層早期破壞元凶

美國麻省理工學院(Massachusetts Institute of Technology, MIT)研究團隊運用現代大氣化學模式及監測技術，重新模擬20世紀大氣環境變化，探討若當時具備現今的監測能力，人類何時能首次觀測到臭氧層受到工業化學物質影響。研究結果顯示，人為造成的臭氧耗損訊號最早可能於1957年即已出現，較1985年南極臭氧洞被發現早約30年；此外，最早出現臭氧層破壞的位置並非南極，而是容易辨識長期氣候變遷趨勢的熱帶平流層。

研究進一步指出，造成早期臭氧耗損的主要物質並非一般熟知的氟氯碳化物(Chlorofluorocarbons, CFCs)，而是自1930年代即開始廣泛使用的四氯化碳(Carbon Tetrachloride, CCl₄)，曾廣泛應用於乾洗、金屬脫脂、化學製程及氟氯碳化物製造等工業用途。其破壞臭氧層潛勢值(Ozone Depletion Potential, ODP)是CFC-12的1.1倍，且在大氣中的壽命長達數十年，《蒙特婁議定書》於1992年哥本哈根修正案時，將其納入列管的臭氧層破壞物質。

麻省理工學院研究團隊結合歷史工業生產資料、冰芯紀錄及大氣化學模擬結果，發現四氯化碳濃度自1940年代起已快速增加(圖一)，足以在1950年代造成可偵測的人為臭氧耗損訊號。研究成果顯示，持續監測列管臭氧層破壞物質及掌握其大氣變化趨勢，對於評估《蒙特婁議定書》管制成效及了解臭氧層恢復過程具有重要意義，也凸顯長期環境監測對保護臭氧層的重要性。

我國依循蒙特婁議定書管制規範，已於1996年起禁止四氯化碳進口，僅限實驗與分析用途，且應取得環境部許可始得辦理輸入作業。另，四氯化碳屬於毒性及關注化學物質管理法所列管的第一類毒性化學物質，亦應遵循《毒性及關注化學物質管理法》。



圖一、平流層臭氧層破壞物質濃度變化

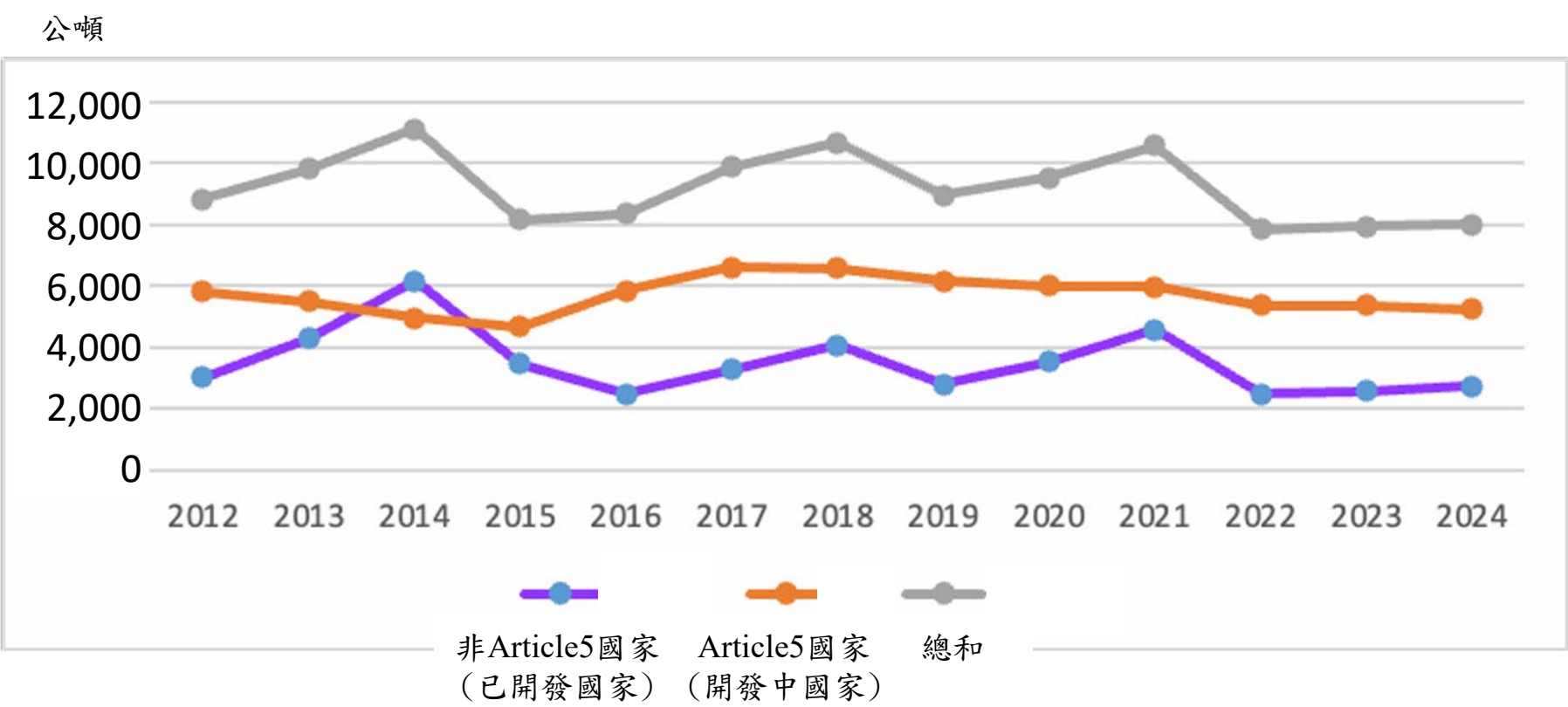
資料來源：
1. J. Guan, B.D. Santer, P. Wang, Q. Fu, R.R. Garcia, Y. Li, K. Stone, D.E. Kinnison, J. Zhang, G. Chiodo, J. Lamarque, & S. Solomon, The emergence of human influence on the ozone layer by the 1960s, Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A. 123 (28) e2608286123, (2026).
2. J. Chu, Scientists find ozone depletion began decades before discovery of ozone hole. MIT News. (2026, June 29).

全球溴化甲烷管理持續推進

溴化甲烷(Methyl Bromide, MB)其燻蒸效果佳、良好的擴散與滲透特性，過去被廣泛應用於農業土壤消毒、穀物與木材燻蒸，以及進出口貨物檢疫等用途，對病蟲害防治及國際貿易扮演重要角色。惟溴化甲烷具有破壞臭氧層潛勢，因此《蒙特婁議定書》自1992年將溴化甲烷納入列管，已開發國家自2005年起；開發中國家自2015年起消費量應削減為零，僅檢疫及裝運前處理(Quarantine and Pre-Shipment, QPS)用途，及關鍵用途且經蒙特婁議定書締約方會議決議通過者，尚持續使用溴化甲烷。

技術暨經濟評估委員會(Technology and Economic Assessment Panel, TEAP)於2026年5月發布最新進度報告指出，全球溴化甲烷非QPS用途經歷了超過30年的時間累計削減超過62,000公噸，為《蒙特婁議定書》推動臭氧層保護的重要成果。溴化甲烷曾廣泛應用於土壤燻蒸、倉儲害蟲防治及高經濟作物病蟲害管理，締約方多年來持續推動替代技術及管理措施，已大幅降低需求。

目前全球每年仍有約7,000至8,000公噸溴化甲烷用於檢疫及裝運前用途(圖二)。近年各國持續投入替代技術研發，包括碘甲烷單獨使用或與二氧化碳併用，可應用於木材產品處理；甲酸乙酯(Ethyl Formate)單獨使用或與二氧化碳或磷化氫(phosphine, PH₃)併用，可應用於多種生鮮農產品的處理，例如處理鳳梨粉介殼蟲或柑橘粉介殼蟲；其他非化學替代技術，包括熱/冷處理、原木去皮處理、輻照處理、環境控制系統(降低氧氣濃度並搭配溫度控制)等。TEAP表示，未來仍將持續評估各項替代技術之有效性、安全性及可行性，協助締約方進一步降低QPS用途對溴化甲烷的依賴，持續推動臭氧層保護及永續病蟲害管理。



圖二、全球溴化甲烷使用量

全球海龍庫管理與需求推估

海龍(Halons)於1960年代起廣泛應用於航空器、軍事設備、船舶及重要資訊機房等關鍵場所。但因海龍具有極高的ODP，於1987年即被《蒙特婁議定書》列為管制物質，各締約方陸續停止生產並逐步淘汰其一般用途。目前全球海龍主要仰賴既有「海龍儲備庫(Halon Banks)」回收、再生及再利用，以滿足部分仍無適當替代品之關鍵用途需求。

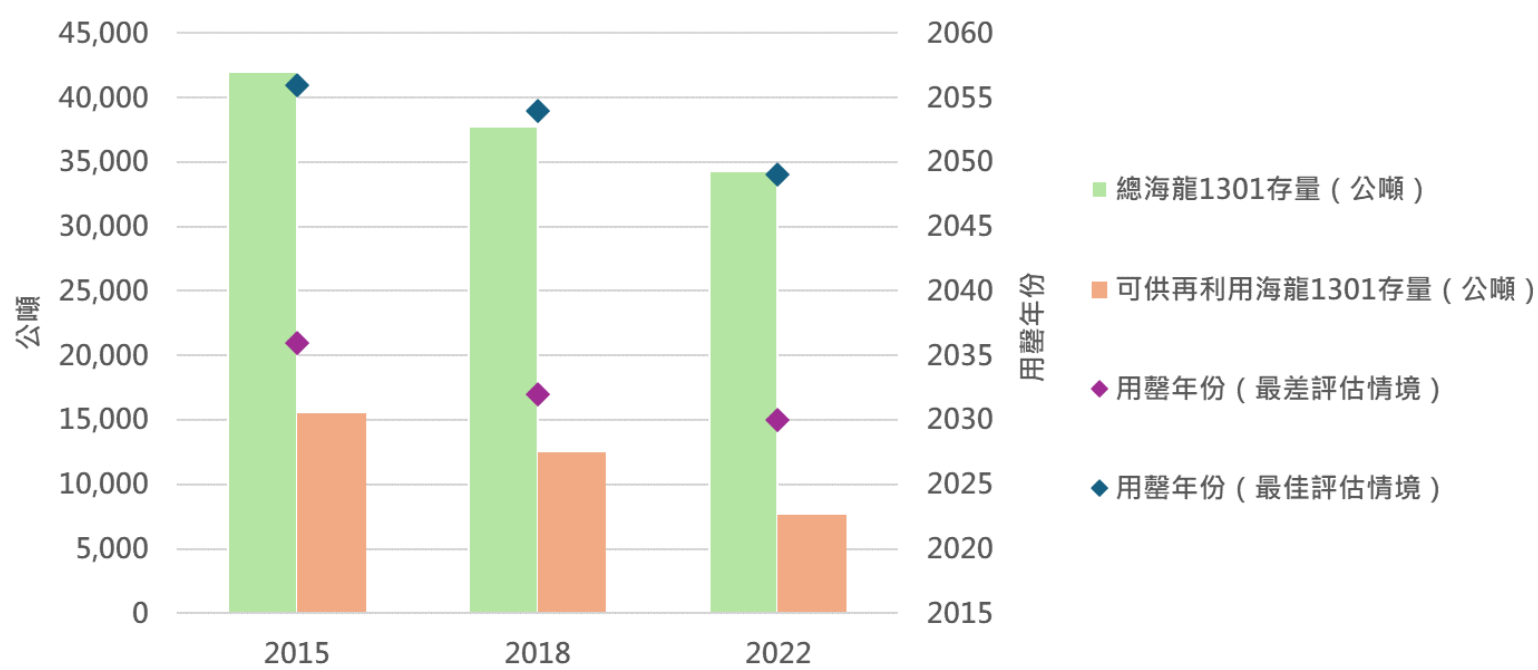
海龍1301仍是民用航空器消防系統的滅火藥劑，現役飛機因設計限制及適航認證需求，短期內仍須依賴既有海龍儲備供應。隨著現役航空器逐步汰舊換新，新型航空器將逐步採用替代滅火技術，因此海龍需求亦將隨機隊汰換逐步改變。

蒙特婁議定書技術暨經濟評估委員會(Technology and Economic Assessment Panel, TEAP)歷次針對全球海龍1301(Halon 1301)庫存進行評估，其預估用罄時程呈現逐步提前的趨勢(圖三)，且實際可以回收並投入市場供應的海龍1301存量亦逐次下降：

- 2015年評估：最快2036年、最慢2056年用罄
- 2018年評估：最快2032年、最慢2054年用罄
- 2022年評估：最快2030年、最慢2049年用罄，可用海龍1301僅剩7,620公噸

可見全球海龍1301庫存消耗速度已超出先前預期，未來應持續推動替代技術導入、提升回收再利用效率，並優先將有限的海龍資源保留於航空、國防等關鍵用途，以確保長期供應需求。

TEAP報告指出，美國環境保護署的替代品政策（Significant New Alternatives Policy, SNAP），雖提議將一種由 2-BTP與CO₂各50%組成的混合物，作為民用航空器貨艙中海龍1301（Halon 1301）的潛在替代品，但尚未正式核准，且尚無任何民航主管機關核准其用於航空器貨艙滅火用途。另，SNAP正針對非同類替代技術（not-in-kind alternatives）的固體氣膠（solid aerosols）進行審查。



圖三、歷次評估海龍1301現有庫存與推估未來用罄年份

資料來源：[Technology and Economic Assessment Panel. \(2026\). May 2026 progress report: Volume 1. United Nations Environment Programme.](#)

新的滅火藥劑從研究、開發到取得法規核准，需要相當長的時間。應用於航空領域的滅火藥劑，更需經過嚴格的性能驗證及適航認證程序。因此海龍全面退場仍需時間，各國應持續推動海龍回收、再生及妥善管理。同時替代技術應持續研發與導入，以兼顧消防安全需求及臭氧層保護目標，確保《蒙特婁議定書》管制措施能持續發揮效益。

我國HCFCs消費量與使用量統計分析

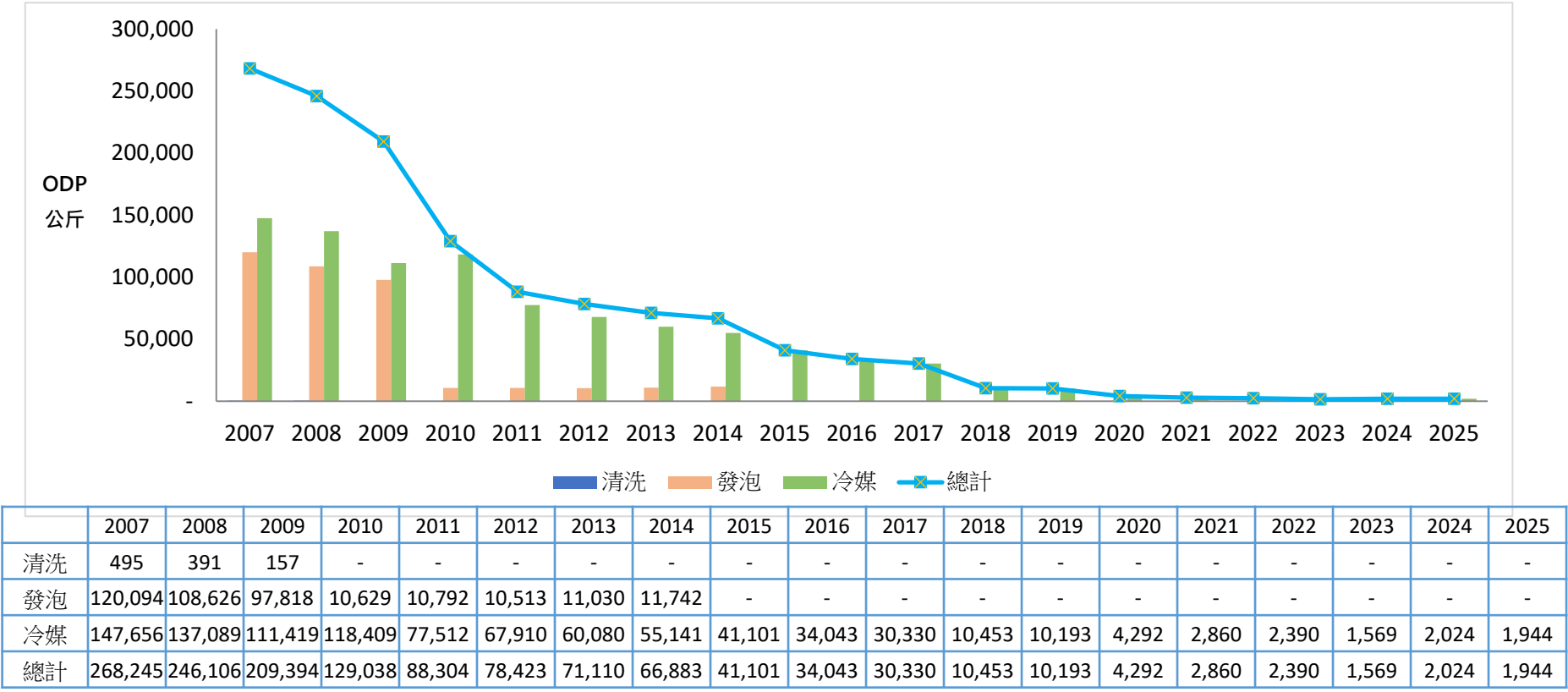
我國依循《蒙特婁議定書》管制規範，訂定「氟氯烴管理辦法」，據以管制氟氯烴（Hydrochlorofluorocarbons, HCFCs）。自1996年起，我國即設定HCFCs年度國家消費量（＝國家生產量＋進口量－出口量）上限，並依管制期程分階段削減。2020年至2029年間，我國HCFCs年度消費量上限已降至消費基準量之0.5%，即3.191 ODP公噸，且僅限供既有冷凍空調設備維修使用。環境部再依據管理辦法規範，每年核定核配量予具核配資格之使用廠商與供應廠商，取得核配量之廠商始得自行或委託辦理進口HCFCs。

依據財政部關務署HCFCs進出口統計資料計算，2025年我國HCFCs消費量為2.597 ODP公噸，約占消費基準量之0.4%。自1996年實施HCFCs消費量管制以來，我國歷年國家消費量均控制於《蒙特婁議定書》各階段規範之消費量上限內，符合國際管制要求。

我國「氟氯烴管理辦法」第 6 條，明訂國內新生產產品及相關製程之HCFCs用途別停用時程，自2004年起陸續管制清洗、發泡等用途，並於2010年起擴及冷媒用途。法規公告全面禁止時程如下：

- 發泡用途：自2016年起禁止使用HCFCs作為發泡劑用途
- 溶劑清洗用途：自2020年起禁止使用HCFCs作為溶劑（含生產及清洗製程）用途
- 冷媒用途：自2020年起新生產設備及新建工程之冷媒填充，禁止使用HCFCs
- 噴霧推進劑：自2010年起禁止使用HCFCs於噴霧推進劑用途

歷年持有核配量之使用廠商，其HCFCs使用量及用途分布如圖四所示。統計結果顯示，我國HCFCs使用量自2007年起整體呈下降趨勢，歷年主要用途包括發泡、溶劑清洗及冷媒等。隨著各用途陸續納入禁限用管制，國內HCFCs使用需求亦逐步降低。

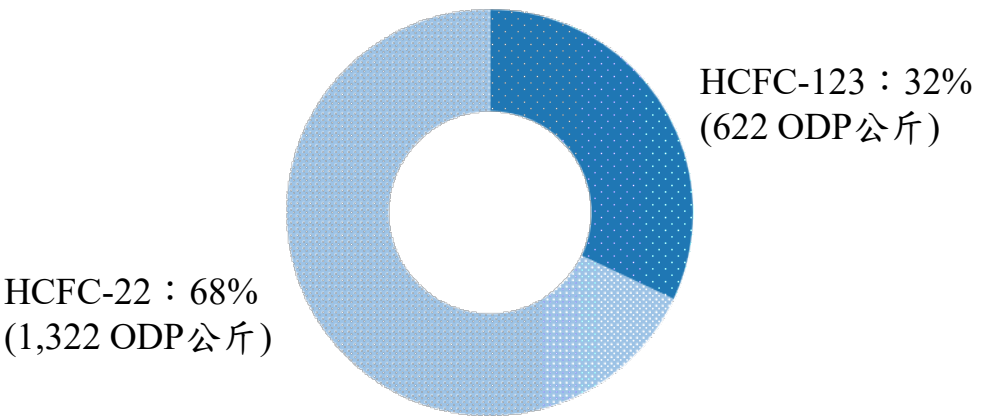


圖四、我國HCFCs使用廠商歷年各用途別的使用量

資料來源：工業技術研究院整理具氟氯烴核配資格使用廠商申報數據

進一步分析具HCFCs核配資格之使用廠商2025年申報資料（如圖五），目前使用之HCFCs種類包括HCFC-22與HCFC-123，且僅限使用於既有設備之維修用途。其中，HCFC-22使用量為1,322 ODP公斤，占68.0%；HCFC-123使用量為622 ODP公斤，占32.0%。

依現行管制期程，我國將自2030年1月1日起全面停止HCFCs進口。因此，目前仍使用HCFC-22、HCFC-123或R-408A等HCFCs冷媒之既有冷凍空調設備，應及早盤點設備使用年限及維修需求，並評估設備汰換或替代冷媒導入之可行性，預先規劃轉型時程，以降低2030年停止進口後因HCFCs冷媒供應受限，可能對設備維修及正常運轉造成之影響。



圖五、我國2025年冷媒用途分布

資料來源：工業技術研究院整理具氟氯烴核配資格使用廠商申報數據

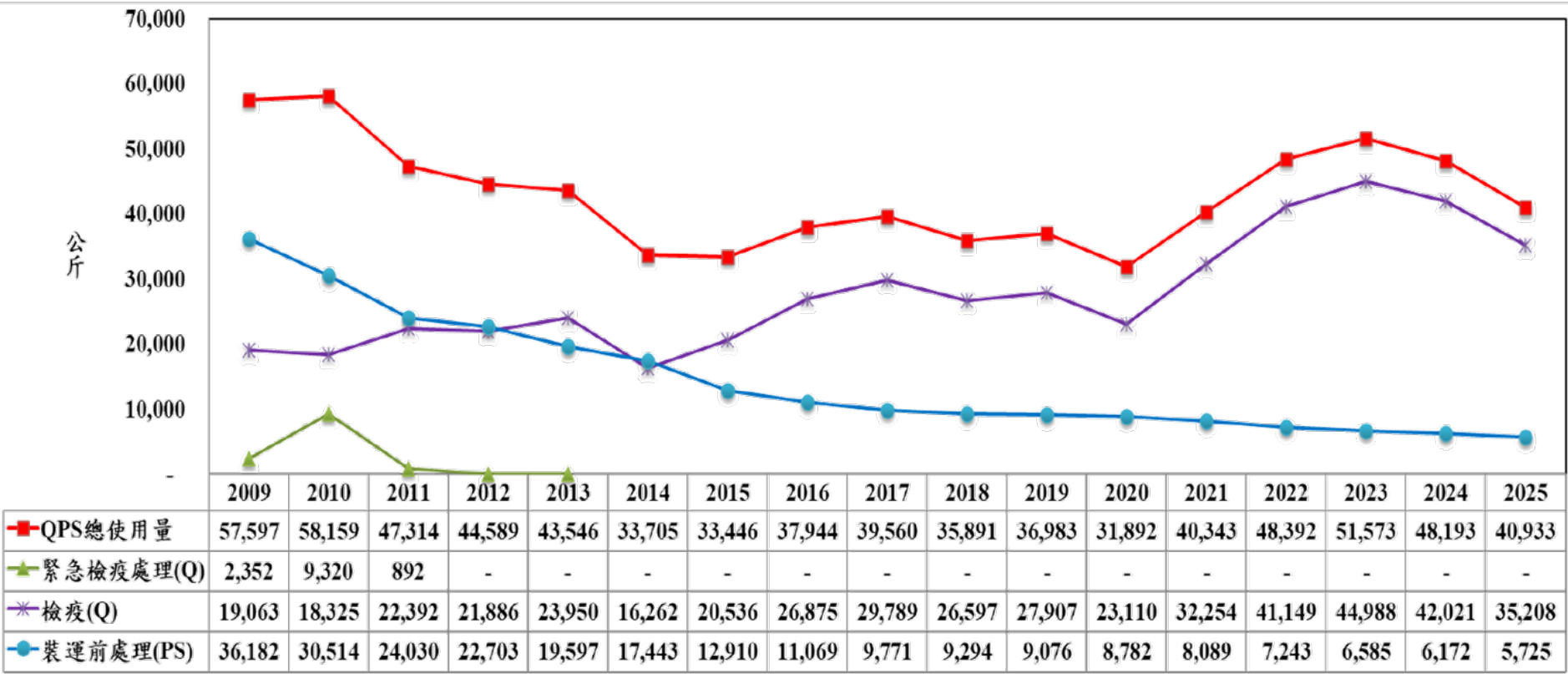
我國溴化甲烷使用統計分析

依據「溴化甲烷管理辦法」第5條和第10條規定，國內檢疫及裝運前處理(Quarantine and Pre-Shipment, QPS)用途之溴化甲烷使用者及進口廠商，應向環境部申請使用與進口許可，始得使用與進口溴化甲烷。且取得許可之單位及廠商，應定期辦理申報作業，申報燻蒸處理商品類別與使用量等資料。

依據使用者申報資料統計，近年來我國溴化甲烷QPS用途使用量分布如圖六所示，2025年溴化甲烷QPS總使用量為40,933公斤，較2024年減少7,260公斤。其中檢疫用途使用量為35,208公斤(約占86%)，較2024年減少16%(6,813公斤)；而裝運前處理使用量為5,725公斤(約占14%)，較2024年減少7%(447公斤)。

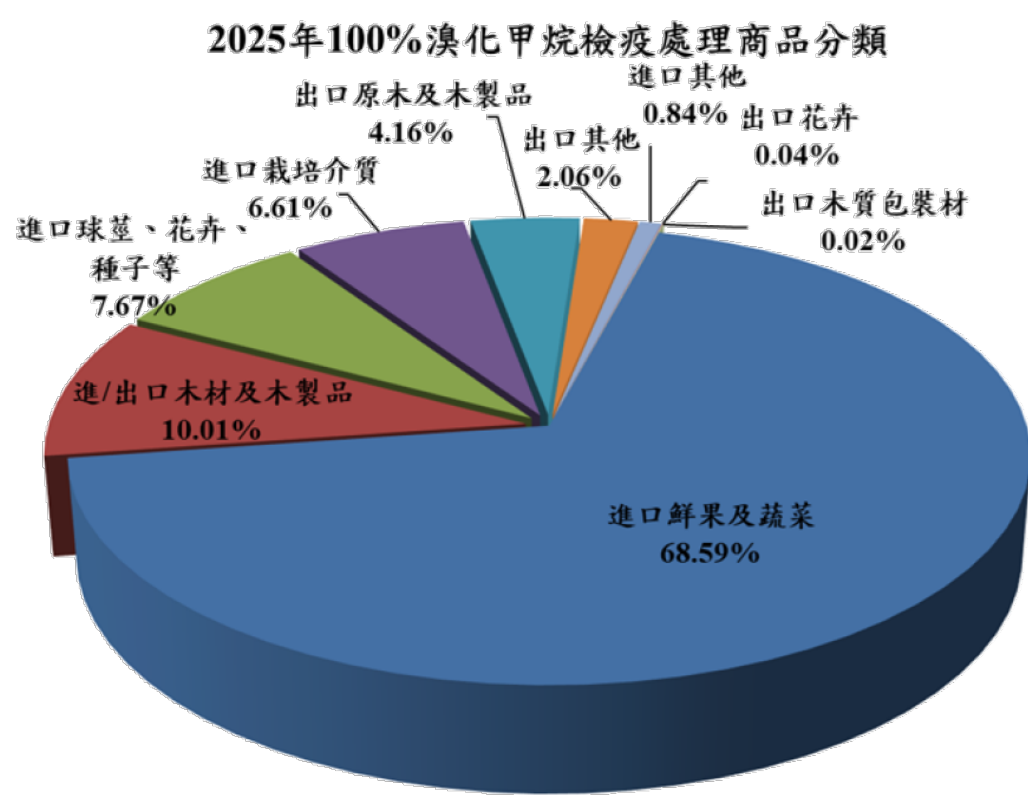
農業部動植物防疫檢疫署為防止與控管檢疫害蟲(包含疾病)的引進、擴散，使用100%溴化甲烷進行貨品之檢疫處理，2025年以進口鮮果及蔬菜為大宗，占使用量68.59%，其次為進口木材及木製品占10.01%，再者進口球莖、花卉、種子等占7.67%，而進口栽培介質及出口原木及木製品分別占6.61%及4.16%，如圖七所示。

而裝運前處理非屬檢疫用途，多屬於民間廠商，因此使用98%溴化甲烷執行貨品燻蒸作業，2025年主要以出口木質包裝材為主(占使用量之62.58%)，其次為出口人身物品占17.77%，而出口其他、出口木材及木製品的使用量合計約為16.11%，如圖八所示。

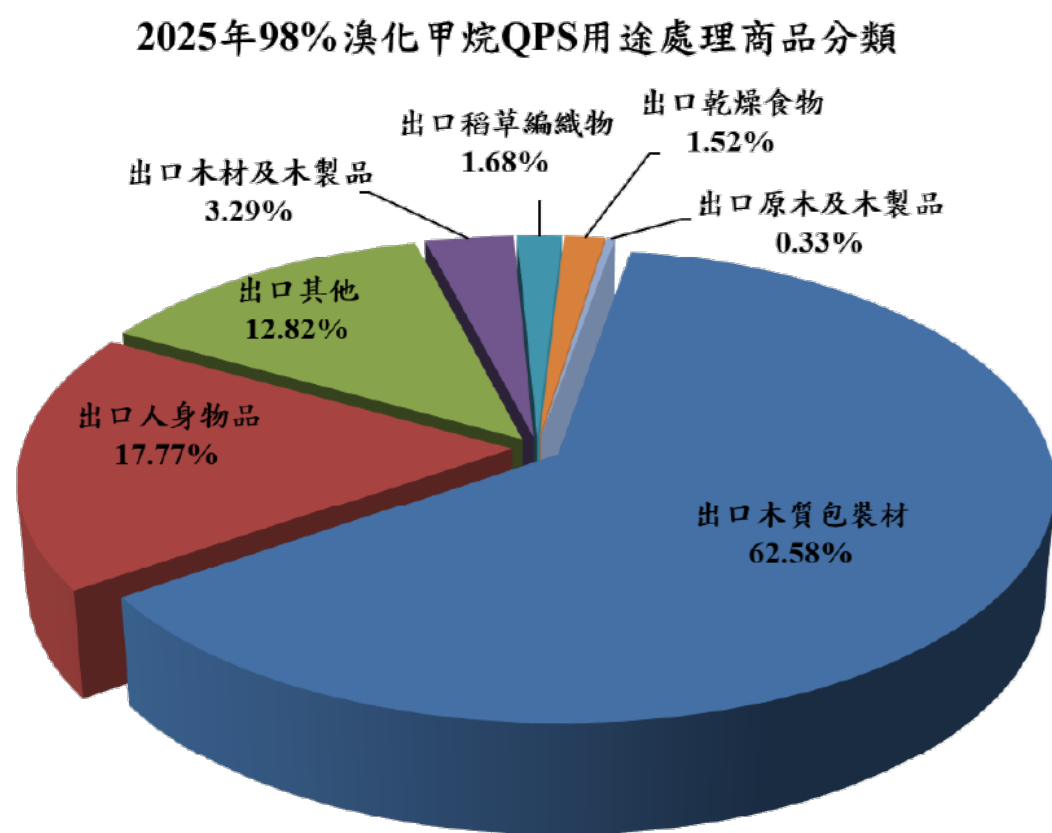


圖六、我國溴化甲烷使用者歷年QPS使用量趨勢

溴化甲烷為急毒性的化學物質，作業場所亦需依《職業安全衛生法》相關規定辦理危害性化學品管理，包括危害標示、安全資料表(Safety Data Sheet, SDS)、作業人員教育訓練、個人防護具配戴及緊急應變等措施，並落實作業環境管理。環境部再次呼籲國內溴化甲烷使用者應當謹慎且合理使用溴化甲烷，評估若有替代技術(如熱處理、磷化氫、冷處理等)可使用時，應避免使用溴化甲烷，以共同保護臭氧層與環境。



圖七、我國2025年100%溴化甲烷檢疫處理商品分類



圖八、我國2025年98%溴化甲烷QPS用途處理商品分類

資料來源：工業技術研究院整理具溴化甲烷使用許可量廠商申報數據

環境部



地址：100006臺北市中正區中華路一段83號
服務專線：(02)2311-7722 [意見信箱](#)

