

理事長的話



吳忠信 | 國立高雄科技大學 副校長

各位先進、各位長官：

「中華環安衛科技協會」秉持為公眾服務的精神，致力於提供環保、安全、衛生技術與健康管理等資訊與經驗之交流。本期會刊收錄六篇優秀文章，涵蓋環境、安全和健康三個議題，其中環境類為〈利用碳酸氫鹽培養微藻之機制與未來前景〉和〈廢棄菇包裂解產氣利用〉；安全類為〈儲槽完整性管理的良好工程實務概述〉和〈比較風險基準檢查中不同後果等級對承壓設備管理的影響〉；以及健康類〈鐳-223：攝護腺癌治療的新利器〉和〈淺談環境塑膠微粒對心血管健康的影響〉。內容涉及微藻技術應用的意義、再生能源開發的新思路；工程實務領域的安全管理議題；以及醫療新知與環境汙染對健康的潛在危害等，為大家提供寶貴的知識與見解。

感謝每一位惠賜文章的專家學者，因為諸位的無私分享和積極參與，才使得本協會能夠持續推出高質量的會刊內容，為業界提供最新的資訊和研究成果。我們期望未來能有更多的專家學者加入我們的行列，共同推動環保、安全、衛生與健康管理領域的發展。

Contents 目錄

■ 理事長的話 吳忠信	I
■ 專題報導	
1. 利用碳酸氫鹽培養微藻之機制與未來前景	1
2. 廢棄菇包裂解產氣利用	19
3. 儲槽完整性管理的良好工程實務概述	30
4. 比較風險基準檢查中不同後果等級對承壓設備管理的影響	40
5. 鐳-223：攝護腺癌治療的新利器	54
6. 淺談環境塑膠微粒對心血管健康的影響	61
■ 會務動態	
中華環安衛科技協會	
第十四屆第三次理監事聯席會－會議紀錄	67

會刊編輯委員會

主任委員 | 吳忠信

會 址 | 高雄市前鎮區一心一路 243 號 4 樓之 1

總 編 輯 | 潘俊仁

聯 絡 處 | 高雄市三民區建工路 415 號

編 輯 | 黃嫻薰

電 話 | 07-3814526 轉 12205

版權所有 · 未經同意請勿轉載

利用碳酸氫鹽培養微藻之機制與未來前景

Mechanism and Future Prospects of Microalgae Cultivation Using Bicarbonate

Mary Joy D. Latagan, 菲律賓大學能源工程系 碩士

黃偉銘, 國立成功大學化學工程系 碩士生

陳日恒, 國立高雄科技大學化學工程與材料工程系 助理教授

張嘉修, 東海大學化學工程與材料工程系 講座教授 / 國立成功大學化學工程系 講座教授

摘要

全球暖化在世界各地造成之影響越來越顯著, 首當任務即是需立即採取適當措施來減緩不斷上升的溫室氣體排放量。近年來, 利用碳酸氫鹽類培養微藻以生產其生物燃料、廢水處理和碳捕捉之方面等潛在應用受到廣泛關注。此研究將綜合描述以碳酸氫鹽類進行微藻培養之技術, 並同時探討其當前挑戰及未來展望。

【關鍵字】 微藻、碳捕捉及再利用、生物燃料、生物質、生物技術

一、前言

近年來，全球地表溫度明顯上升及氣候變化引發了極端氣候，對地球生態系統造成了不良影響（Santos-Guzman et al., 2021）。如果人類活動持續依賴化石燃料，全球暖化預測軌跡顯示，到本世紀末溫度將上升 6.4°C （Oh & Jeon, 2017）。減緩氣候暖化是聯合國制定「可持續發展目標」框架的基本架構，該框架推動了全球持續發展的努力。電力的使用和交通運輸是二氧化碳排放的主要來源，需要大家的共同關注及研究改善，將以往過度使用有限的化石燃料轉向為可再生及綠色能源替代品（Chang et al., 2022; Condor et al., 2022b; Ocreto et al., 2022）。

在該領域的重大技術進步之一是使用微藻作為第三代原料來生產生物燃料和高價值化學品（Acebu et al., 2022; Arpia et al., 2021; Condor et al., 2022a）。這些光合微生物用於能源生產中具有顯著量產能力且同時引發學界的廣泛關注，它們能有效地捕獲及利用二氧化碳（Bondad et al., 2018; Ido et al., 2018）。微藻的固碳效率比陸地植物之效率可高達 50 倍之多，而過程中只需要簡單的條件，例如碳、營養素和水等，且無需大規模的變更土地使用情形（de Luna et al., 2017; Zhou et al., 2017）。於二氧化碳濃縮機制（CCM）條件下，其元素組成含量含碳量可高達 50%，以便在其棲息地之二氧化碳濃度下發揮最大作用（Nguyen & Rittmann, 2016）。此外，微藻除了應用於能源領域之外還具有應用於多種工業應用的重大潛力，例如有機化合物、脂質、碳水化合物、蛋白質、色素、礦物質和維生素等，這些將可應用於製藥、生物技術、化妝品、食品科學、水產養殖和廢水處理在內的各領域中（Jeremias et al., 2023; Meier et al., 2015; Templeton & Laurens, 2015）。

儘管微藻具有可觀的前景，但與其營運相關的限制仍然阻礙了微藻培養的商業化（Chen et al., 2022）。高效率微藻培養通常會培養於封閉的光合反應系統裡或是於開放式的養殖培養系統，養殖過程中會提供大量的二氧化碳。由於二氧化碳在介質中的溶解度有限，只有一小部分的二氧化碳會被微藻所利用，而大部分的二氧化碳將會逸散回大氣中（Acién Fernández et al., 2012; Asadollahzadeh et al., 2014）。此外，壓縮、運輸和儲存二氧化碳等相關的額外

費用和其複雜性，也進一步影響此技術之可行性（Wang et al., 2020）。

值得注意的是，除了二氧化碳外，微藻還可以代謝各種形式的無機碳，例如碳酸氫根離子（ HCO_3^- ）（Chen et al., 2016）。細胞內的碳酸酐酶（carbonic anhydrases, CA）可將 HCO_3^- 轉化為二氧化碳，以促進固碳作用。這種 CCM 的方面增強了微藻的碳捕捉效率，並利用環境中各種形式的無機碳（Li et al., 2023）。有鑑於此，碳酸鹽類作為微藻培養的無機碳源將是另一項新的選擇。碳酸氫鈉（ NaHCO_3 ）則被發現可作為微藻 *Chlorella vulgaris* 的無機碳源（Yeh et al., 2010），此研究成果提供了一種經濟價值高且環保的方式，碳酸氫鈉有液態也有固態，同時也實現了便利的儲存和供應方式（Zhu et al., 2022）。

碳酸鹽類在水中的溶解度及其碳利用效率方面皆優於二氧化碳（Lam & Lee, 2013）。碳酸鹽類與二氧化碳反應進而生成鹼性吸收劑〔如氫氧化鈉（ NaOH ）和碳酸鈉（ Na_2CO_3 ）〕（Shim et al., 2016）。通過二氧化碳之吸收產生碳酸氫鹽類並同時應用於微藻培養，呈現一舉數得之效益，使之成為解決多樣性與可持續性的碳捕獲與再利用（CCU）技術的有力選擇（Leong et al., 2021）。有鑑於利用碳酸氫鹽類進行微藻培養可有效解決日益嚴重的全球暖化問題之潛力，本內容將概述當前研究現況，以評估日後商業化之可行性。

二、微藻及其潛在應用

微藻是一種能夠進行光合作用的微小生物，由於其廣泛的用途及亦能解決全球氣候暖化問題而引起了科學家們的極大興趣（Song et al., 2022）。這些生物體具有能有效利用太陽光和二氧化碳的能力，並將其轉化為高價值的生物質和產生具有生物活性之化合物，微藻將成為可持續生物生產並極具前景的明日之星（Razzak et al., 2017）。

微藻裡含有蛋白質、脂質、碳水化合物和各種必需胺基酸等成分。這些成分可使微藻具有強而有力發展潛力並可應用作為動物飼料、食品補充劑和生物燃料等（Pignolet et al., 2013）。圖 1 為微藻轉化生質燃料和高價值產品（Khan et al., 2018）。

富含脂質的微藻可透過質酯交換轉化為生質柴油，為傳統化石燃料提供了

一替代品 (Neag et al., 2023)。由於其碳水化合物含量高，還具生物產氫、沼氣和乙醇的能力，將是未來可再生能源的選擇之一 (Markou et al., 2012)。此外，微藻具有豐富的生物活性，具備促進各種健康益處的潛力 (Balasubramaniam et al., 2021)。微藻還可以利用氮和磷等營養物質來促進其生長，在廢水處理中發揮至關重要的角色 (Vo et al., 2020)。以上這些技術的整合都是為減少溫室氣體排放提供了一條極具潛力的途徑，並同時產生高價值的生物體和及其產物。

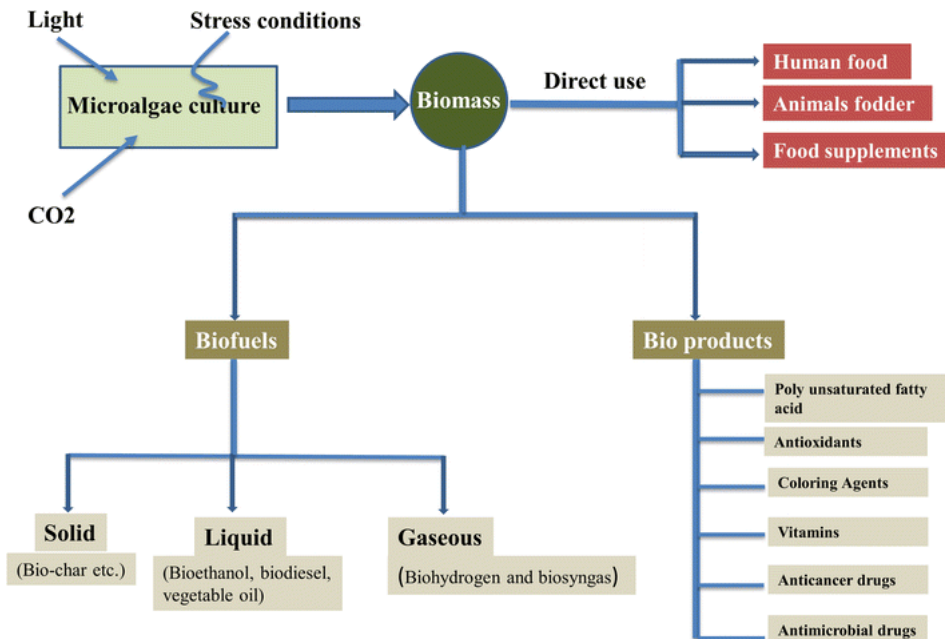


圖 1、微藻轉化為生質燃料和高價值產品 (Khan et al., 2018)

三、微藻生產生質燃料

利用微藻作為生質燃料之來源極具發展潛力，藉由上述之優點，能有效地解決了作為生質燃料來源所遭遇之問題。第一代生質燃料使用玉米等傳統作物作為原料有與民爭糧之問題；第二代生質燃料則使用農業殘渣等纖維素材做為原料，在預處理和轉化效率低等方面產生需突破之問題 (Su et al., 2017)。因此，開發使用微藻作為第三代生質燃料為料源能同時解決生物來源的永續性和商業化之可行性 (Bortoleto et al., 2017)。

微藻富含油脂可具有將生產的油脂轉化為生質柴油之前景。生質柴油是一種多功能燃料可做為現今燃料之替代品，是透過質酯交換衍生出的脂肪酸混合物所組成 (Neag et al., 2023)。針對藻油、植物種子油和動物脂肪提取的生質柴油性能進行比較分析，其微藻所生產的生質柴油在脂肪酸組成、皂化數值、磷和硫含量等方面與傳統生質柴油相比具有相當實力，因此微藻生質柴油具有成為新替代能源之潛力 (Chen et al., 2018)。

此外，與植物相比，微藻具有更簡單的結構且有更高的光合作用轉化效率。所利用的太陽能大部分先轉化累積成為碳水化合物，而後轉化生成生質乙醇等燃料 (Bastos, 2018)。與含有大量半纖維素和木質素的植物相比，微藻主要成分為含有澱粉和纖維素形式的碳水化合物，它們可以透過微生物發酵將其水解成醣類。由於結構不含木質素，因此微藻的細胞壁也更容易處理及萃取裡面之有效成分 (Phwan et al., 2018)。

微藻同時也被認為是生物產氫的潛在替代來源。與生質柴油和生質乙醇等其他成熟的生物燃料相比，微藻衍生出的生物氫氣，目前只處於剛起步開發階段 (Show et al., 2019)。目前的技術主要為發酵反應，有光發酵、暗發酵等多種方法 (Wang et al., 2021)。暗發酵因能持續不間斷的生產氫氣且無需依賴光源之表現具有一定的優勢 (Li et al., 2022)。目前，氫氣是生物燃料中最昂貴且生產過程中也遭遇到許多挑戰，日後利用微藻生產氫氣將獲得更多的研究及關注，值得進一步之探討 (Nagarajan et al., 2017)。

微藻可當新的替代能源及生產高價值化學品，也可透過生物精煉生產多種產品，提升了於生活中應用的可行性如圖 2 (González et al., 2015)，如何在生活中應用的可行性和環境永續性之間取得平衡將是全球未來共同研究努力的目標。

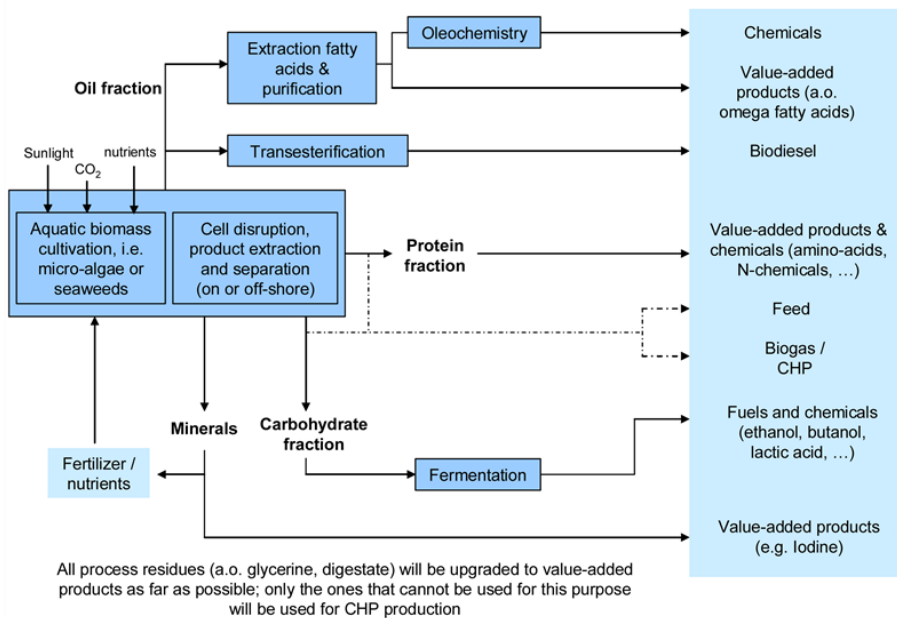


圖 2、微藻生物精煉系統圖 (González et al., 2015)

四、以碳酸氫鹽類作為碳源進行微藻培養

實現更經濟的微藻培養系統是使用碳酸氫鹽類作為培養的碳源。在過去數年中，搜索「微藻碳酸氫鹽類」相關的相關出版數量顯著增加，如圖 3 所示。使用碳酸氫鹽類整合了碳捕捉和藻類生產系統 (Bicarbonate-based Integrated Carbon Capture and Algae Production System, BICCAPS) 的一種創新方法，透過二氧化碳轉化為 HCO_3^- 來捕捉二氧化碳，然後將其作為微藻培養的碳源提供來源，該過程提供了一種持續且更具成本效益的微藻培養方法。代表性的 BICCAPS 流程圖如圖 4 所示。一般來說，煙道氣或任何其他含有二氧化碳的物質與下方的鹼性溶液緊密接觸，此過程可將二氧化碳轉化進而產生富含碳酸氫根或碳酸根 (CO_3^{2-}) 離子的產物。於反應器之上方氣體因不含二氧化碳等氣體可以進行其他額外的處理或直接排放到大氣中。同時，將富含碳酸氫鹽類的溶液作為培養基引入光生物反應器作為微藻培養的碳源，而用過的溶液可循環再次利用。最後，可將生物體進一步加工轉化為生質燃料或其他高價值化學品 (Song et al., 2019a; Song et al., 2019b)。

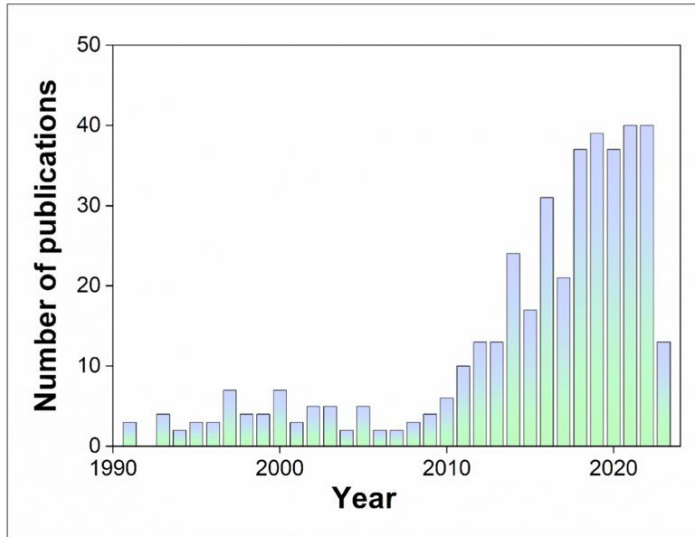


圖 3、Web of Science 系統內之碳酸氫鹽微藻培養相關期刊發表數量

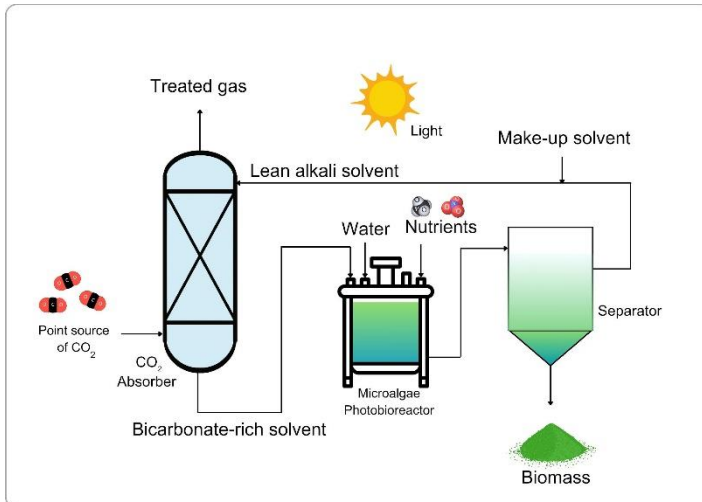


圖 4、碳酸氫鹽整合碳捕捉和藻類生產系統 (BICCAPS) 之整體製程流程圖

傳統的獨立碳捕捉技術實施過程中面臨許多阻礙及挑戰。首先是與吸附劑相關的大量需求及儲存具有相對應之困難 (Shen et al., 2017)，建立一個高容量封存基礎設施來容納捕獲的二氧化碳也將是一重大挑戰 (Stuart, 2011)；另一個挑戰是與碳捕捉封存系統相關的安裝和營運成本，這將限制了商業化的投資 (Pratama & Mac Dowell, 2022)。此外，傳統的微藻培養也面臨一系列挑戰，二氧化碳轉化為生物質的效率相對較低，這種限制源自於光合作用過程的固有限制以及二氧化碳在培養基中的溶解度；維持微藻的最佳生長條件 (包括溫度

和 pH 值) 及放大生產培養, 面臨需要相對應的土地面積、水資源和營養源等 (Wang et al., 2020) 也是一大挑戰, 需要再三優化和監測。

透過鹼性溶液吸收二氧化碳和使用碳酸氫鹽類進行微藻培養與之結合, 在 CCU 和生物技術領域為非常具有前途的策略之一, 因而解決了上述之相關問題。此外, 利用鹼性溶液吸收將二氧化碳轉化為碳酸氫鹽類, 無需儲存大量二氧化碳並運送等問題, 大幅減少資本和營運支出, 也消除二氧化碳和微藻培養設施之間鄰近位置的要求, 增強了廠區選擇的靈活性 (Kim et al., 2019), 這不僅可以減少溫室氣體排放, 還可以促進循環經濟的發展。

微藻常見於淡水、海洋和陸地棲息地等, 由於其進化過程和對特定棲息地的適應而表現出不同的生化特徵。它們的生長和生物組成成分有重大影響因素為碳源、光源、鹽度、溫度、營養來源和 pH 值 (Pal et al., 2011)。微藻能夠根據其棲息地的不同而演化出不同的生理機制, 例如可以從吸收的二氧化碳或碳酸氫鹽中獲取必要的碳源。無機碳在水中將以 CO_2 、 H_2CO_3 、 HCO_3^- 和 CO_3^{2-} 的形式存在, 而以什麼形式存在取決於介質的 pH 值和溫度 (Wu, 2021), 這種平衡由式(3)、式(4)和圖 5 表示 (Ghobadi et al., 2016)。

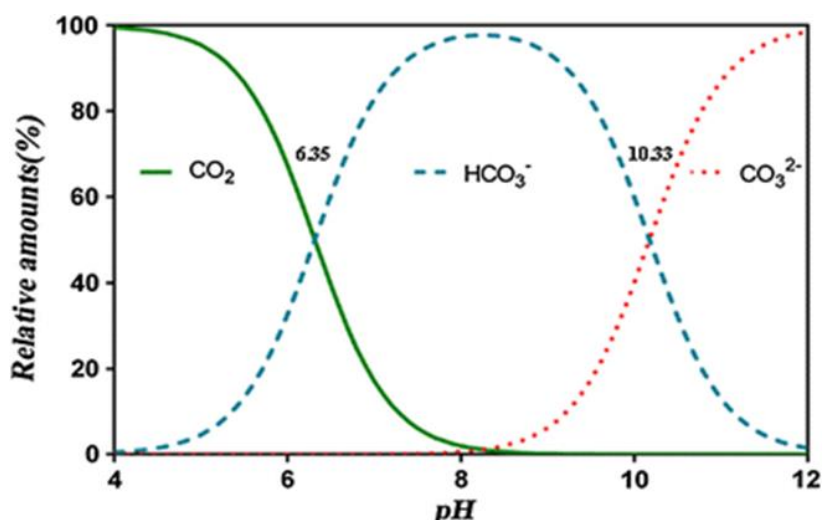
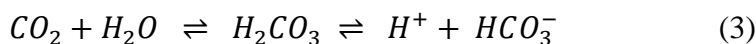


圖 5、平衡二氧化碳、碳酸氫鹽和 pH 值之間之關係 (Ghobadi et al., 2016)

而海水的 pH 值約為 8.1，存在於海水中的 CO_2 和 HCO_3^- 的濃度大約分別為 $10\mu\text{M}$ 和 $1750\mu\text{M}$ (Al-Anezi & Hilal, 2006)。而生活於其中的微藻為了適應其差異，將透過二氧化碳濃縮機制 (CCM) 有效地將濃度高的碳酸氫鹽類當作碳源加以利用 (Spalding, 2008)。CCM 是指微藻能夠根據所生存環境的條件下，於細胞內或細胞外進行 CO_2 和 HCO_3^- 之間的轉換，其反應是透過核酮糖 1,5-二磷酸羧化酶/加氧酶 (RuBisCO) 及不同碳酸酐酶 (CA) 來進行 (Mondal et al., 2016)。碳酸酐酶則是 CO_2 和 HCO_3^- 轉換反應過程中極為重要的催化劑，扮演著至關重要的角色 (Jensen et al., 2020)。隨後，濃縮的 CO_2 被細胞內的多面體羧基體內的 RuBisCO 酵素同化，此轉換過程為 Calvin cycle，該循環為利用葉綠體產生 ATP 及 NADPH (Rae et al., 2013)，並將二氧化碳吸收轉化為碳水化合物之前驅物，此過程和微藻的新陳代謝和生長息息相關，CCM 和光合作用過程的描述如圖 6 所示。

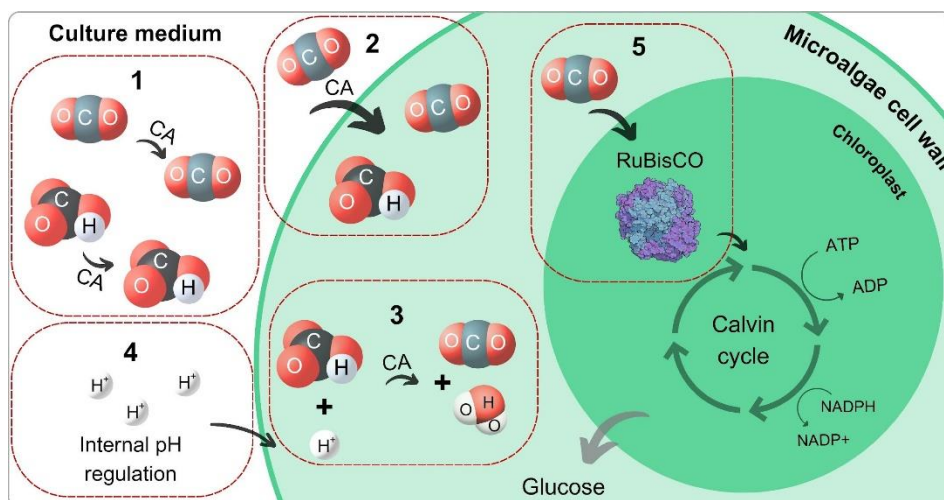


圖 6、微藻中碳酸氫鹽和二氧化碳代謝機制。碳酸酐酶 (CA) 負責(1)藻類細胞壁附近碳酸氫鹽的累積，(2)碳酸氫鹽和二氧化碳在細胞壁內的轉移，以及(3)將碳酸氫鹽轉化為二氧化碳，(4)由於轉化過程中 H^+ 的利用，細胞調節從培養基中攝取 H^+ 以維持其內部 pH，(5) RuBisCO 將 CO_2 透過 Calvin Cycle 產生葡萄糖

五、當前的挑戰與未來的方向

生質能 (Bio-Energy) 與二氧化碳捕捉與封存 (Carbon Capture and Storage, CCS) 結合是一種提供生質能源的負碳技術，稱作生質能源碳捕捉與封存 (BioEnergy with Carbon Capture and Storage, BECCS)，其運作方式如圖 7 所示。生物質中的碳來自二氧化碳 (CO₂)，這是一種生物質生長時從大氣中提取的溫室氣體。當通過燃燒、醱酵、熱解或其他轉化方法利用生物質時，能量就會以有用的形式 (電力、熱能、生物燃料等) 來提取。生物質中的碳轉化為二氧化碳或生物炭，可以透過封存或土地利用來儲存，從而實現二氧化碳去除 (Carbon Dioxide Removal, CDR)。然而，如能提高 CO₂ 再利用的效率，預期更能提升此技術的應用價值。

微藻作為碳捕捉及再利用技術的應用將在再生能源多樣化和固定二氧化碳，以實現循環和可持續的淨零排放等經濟方面發揮重要作用。BICCAP 系統使用碳酸氫鹽類作為碳源而不是二氧化碳，以降低培養成本及未來大規模養殖之營運成本。這主要是由於碳酸氫鹽類的利用提高了碳的利用率以及增加碳源儲存和運輸的便利性。這些優勢將大大加快商業化進程。然而，目前仍遇到了該技術商業化的一些挑戰，如使用碳酸氫鹽類作為碳源會導致培養過程中 pH 值升高，導致適用藻株的生長受到抑制。微藻對 pH 值的變化極其敏感，因此如何保持 pH 值的穩定和藻株 pH 值的適應範圍對其生長至關重要。額外的碳酸氫鹽亦可能增加溶液中更高的鹽度使微藻面臨更高的滲透壓。

實施永續策略以減少不斷增加的溫室氣體排放量至關重要。BICCAP 系統作為應對這項挑戰有巨大的潛力，包含生物燃料之生產、廢水處理和碳捕捉等方面的應用。本報導綜合探討了以碳酸氫鹽類培養微藻的基本機制、基本策略。未來研究應進一步推進該技術並為其商業化的重要性及必要性，以減輕全球暖化的影響，邁向環境永續、碳循環和淨零碳排放社會，創造更永續的未來。

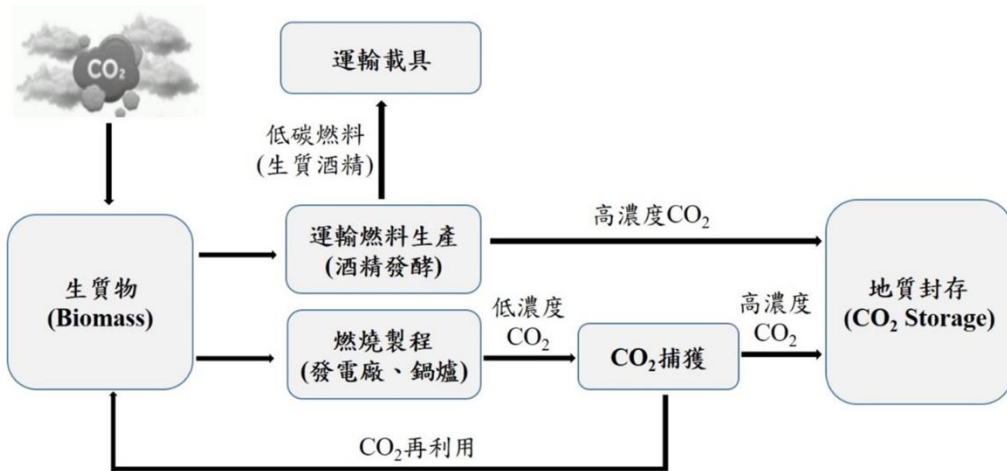


圖 7、生質能源碳捕獲與封存 (BECCS) 示意圖

資料來源：<https://reurl.cc/E4E4Em>

參考文獻

- Acebu, P.I.G., de Luna, M.D.G., Chen, C.-Y., Abarca, R.R.M., Chen, J.-H., Chang, J.-S. 2022. Bioethanol production from *Chlorella vulgaris* ESP-31 grown in unsterilized swine wastewater. *Bioresource technology*, **352**, 127086.
- Acién Fernández, F.G., González-López, C., Fernández Sevilla, J., Molina Grima, E. 2012. Conversion of CO₂ into biomass by microalgae: how realistic a contribution may it be to significant CO₂ removal? *Applied microbiology and biotechnology*, **96**, 577-586.
- Al-Anezi, K., Hilal, N. 2006. Effect of carbon dioxide in seawater on desalination: a comprehensive review. *Separation & Purification Reviews*, **35**(3), 223-247.
- Arpia, A.A., Chen, W.-H., Ubando, A.T., Tabatabaei, M., Lam, S.S., Culaba, A.B., De Luna, M.D.G. 2021. Catalytic microwave-assisted torrefaction of sugarcane bagasse with calcium oxide optimized via Taguchi approach: Product characterization and energy analysis. *Fuel*, **305**, 121543.
- Asadollahzadeh, M.J., Ardjmand, M., Seafkordi, A.A., Heydarian, S.M. 2014. Efficient storage and utilization of CO₂ in open raceway ponds for cultivation

- of microalgae. *Korean Journal of Chemical Engineering*, **31**(8), 1425-1432.
- Balasubramaniam, V., Gunasegavan, R.D.-N., Mustar, S., Lee, J.C., Mohd Noh, M.F. 2021. Isolation of industrial important bioactive compounds from microalgae. *Molecules*, **26**(4), 943.
- Bastos, R.G. 2018. Biofuels from microalgae: Bioethanol. *Energy from microalgae*, 229-246.
- Bondad, C.B., Shin JingYeong, S.J., Luna, M.d., Kim YoungMo, K.Y. 2018. Temperature-phased anaerobic co-digestion of sewage sludge and micro algae for enhanced biomethane production.
- Bortoleto, G.G., de Miranda, H.L., de Campos, R.H. 2017. Biodiesel from Microalgae: Third Generation Biofuel. *Plant-Based Genetic Tools Biofuels Production; Bentham Science Publishers: Sharja, United Arab Emirates*, 169-198.
- Chang, K.-L., Muega, S.C., Ofrasio, B.I.G., Chen, W.-H., Barte, E.G., Abarca, R.R.M., de Luna, M.D.G. 2022. Synthesis of 5-hydroxymethylfurfural from glucose, fructose, cellulose and agricultural wastes over sulfur-doped peanut shell catalysts in ionic liquid. *Chemosphere*, **291**, 132829.
- Chen, J., Li, J., Dong, W., Zhang, X., Tyagi, R.D., Drogui, P., Surampalli, R.Y. 2018. The potential of microalgae in biodiesel production. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, **90**, 336-346.
- Chen, J.-H., Nagarajan, D., Huang, Y., Zhu, X., Liao, Q., Chang, J.-S. 2022. A novel and effective two-stage cultivation strategy for enhanced lutein production with *Chlorella sorokiniana*. *Biochemical Engineering Journal*, **188**, 108688.
- Chen, Y., Zhang, L., Xu, C., Vaidyanathan, S. 2016. Dissolved inorganic carbon speciation in aquatic environments and its application to monitor algal carbon uptake. *Science of the total environment*, **541**, 1282-1295.
- Condor, B.E., de Luna, M.D.G., Abarca, R.R.M., Chang, Y.H., Leong, Y.K., Chen, C.Y., Chen, P.T., Lee, D.J., Chang, J.S. 2022a. Optimization and modeling of
-

- carbohydrate production in microalgae for use as feedstock in bioethanol fermentation. *International Journal of Energy Research*, **46**(13), 19300-19312.
- Condor, B.E., de Luna, M.D.G., Chang, Y.-H., Chen, J.-H., Leong, Y.K., Chen, P.-T., Chen, C.-Y., Lee, D.-J., Chang, J.-S. 2022b. Bioethanol production from microalgae biomass at high-solids loadings. *Bioresource technology*, **363**, 128002.
- de Luna, M.D.G., Doliente, L.M.T., Ido, A.L., Chung, T.-W. 2017. In situ transesterification of *Chlorella* sp. microalgae using LiOH-pumice catalyst. *Journal of environmental chemical engineering*, **5**(3), 2830-2835.
- Ghobadi, M.H., Firuzi, M., Asghari-Kaljahi, E. 2016. Relationships between geological formations and groundwater chemistry and their effects on the concrete lining of tunnels (case study: Tabriz metro line 2). *Environmental Earth Sciences*, **75**, 1-14.
- González, L.E., Díaz, G.C., Aranda, D.A.G., Cruz, Y.R., Fortes, M.M. 2015. Biodiesel production based in microalgae: a biorefinery approach. *Natural Science*, **7**(07), 358.
- Ido, A.L., de Luna, M.D.G., Capareda, S.C., Maglinao Jr, A.L., Nam, H. 2018. Application of central composite design in the optimization of lipid yield from *Scenedesmus obliquus* microalgae by ultrasound-assisted solvent extraction. *Energy*, **157**, 949-956.
- Jensen, E.L., Maberly, S.C., Gontero, B. 2020. Insights on the functions and ecophysiological relevance of the diverse carbonic anhydrases in microalgae. *International Journal of Molecular Sciences*, **21**(8), 2922.
- Jeremias, J.S.D., Lin, J.-Y., Dalida, M.L.P., Lu, M.-C. 2023. Abatement technologies for copper containing industrial wastewater effluents—a review. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, **11**(2), 109336.
- Khan, M.I., Shin, J.H., Kim, J.D. 2018. The promising future of microalgae: current status, challenges, and optimization of a sustainable and renewable
-

- industry for biofuels, feed, and other products. *Microbial cell factories*, **17**, 1-21.
- Kim, G.-Y., Roh, K., Han, J.-I. 2019. The use of bicarbonate for microalgae cultivation and its carbon footprint analysis. *Green chemistry*, **21**(18), 5053-5062.
- Lam, M.K., Lee, K.T. 2013. Effect of carbon source towards the growth of *Chlorella vulgaris* for CO₂ bio-mitigation and biodiesel production. *International Journal of Greenhouse Gas Control*, **14**, 169-176.
- Leong, Y.K., Chew, K.W., Chen, W.-H., Chang, J.-S., Show, P.L. 2021. Reuniting the biogeochemistry of algae for a low-carbon circular bioeconomy. *Trends in plant science*, **26**(7), 729-740.
- Li, D., Dong, H., Cao, X., Wang, W., Li, C. 2023. Enhancing photosynthetic CO₂ fixation by assembling metal-organic frameworks on *Chlorella pyrenoidosa*. *Nature Communications*, **14**(1), 5337.
- Li, S., Li, F., Zhu, X., Liao, Q., Chang, J.-S., Ho, S.-H. 2022. Biohydrogen production from microalgae for environmental sustainability. *Chemosphere*, **291**, 132717.
- Markou, G., Angelidaki, I., Georgakakis, D. 2012. Microalgal carbohydrates: an overview of the factors influencing carbohydrates production, and of main bioconversion technologies for production of biofuels. *Applied microbiology and biotechnology*, **96**, 631-645.
- Meier, L., Pérez, R., Azócar, L., Rivas, M., Jeison, D. 2015. Photosynthetic CO₂ uptake by microalgae: An attractive tool for biogas upgrading. *Biomass and bioenergy*, **73**, 102-109.
- Mondal, M., Khanra, S., Tiwari, O., Gayen, K., Halder, G. 2016. Role of carbonic anhydrase on the way to biological carbon capture through microalgae—a mini review. *Environmental Progress & Sustainable Energy*, **35**(6), 1605-1615.
- Nagarajan, D., Lee, D.-J., Kondo, A., Chang, J.-S. 2017. Recent insights into
-

- biohydrogen production by microalgae—From biophotolysis to dark fermentation. *Bioresource technology*, **227**, 373-387.
- Neag, E., Stupar, Z., Maicaneanu, S.A., Roman, C. 2023. Advances in biodiesel production from microalgae. *Energies*, **16**(3), 1129.
- Nguyen, B.T., Rittmann, B.E. 2016. Effects of inorganic carbon and pH on growth kinetics of *Synechocystis* sp. PCC 6803. *Algal research*, **19**, 363-369.
- Ocreto, J.B., Chen, W.-H., Rollon, A.P., Ong, H.C., Pétrissans, A., Pétrissans, M., De Luna, M.D.G. 2022. Ionic liquid dissolution utilized for biomass conversion into biofuels, value-added chemicals and advanced materials: A comprehensive review. *Chemical Engineering Journal*, **445**, 136733.
- Oh, J.-Y., Jeon, E.C. 2017. Greenhouse Effects in Global Warming based on Analogical Reasoning. *Foundations of Science*, **22**, 827-847.
- Pal, D., Khozin-Goldberg, I., Cohen, Z., Boussiba, S. 2011. The effect of light, salinity, and nitrogen availability on lipid production by *Nannochloropsis* sp. *Applied microbiology and biotechnology*, **90**, 1429-1441.
- Phwan, C.K., Ong, H.C., Chen, W.-H., Ling, T.C., Ng, E.P., Show, P.L. 2018. Overview: comparison of pretreatment technologies and fermentation processes of bioethanol from microalgae. *Energy Conversion and Management*, **173**, 81-94.
- Pignolet, O., Jubeau, S., Vaca-Garcia, C., Michaud, P. 2013. Highly valuable microalgae: biochemical and topological aspects. *Journal of Industrial Microbiology and Biotechnology*, **40**(8), 781-796.
- Pratama, Y.W., Mac Dowell, N. 2022. Carbon capture and storage investment: fiddling while the planet burns. *One Earth*, **5**(4), 434-442.
- Rae, B.D., Long, B.M., Badger, M.R., Price, G.D. 2013. Functions, compositions, and evolution of the two types of carboxysomes: polyhedral microcompartments that facilitate CO₂ fixation in cyanobacteria and some proteobacteria. *Microbiology and molecular biology reviews*, **77**(3), 357-379.
- Razzak, S.A., Ali, S.A.M., Hossain, M.M., deLasa, H. 2017. Biological CO₂
-

- fixation with production of microalgae in wastewater—a review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, **76**, 379-390.
- Santos-Guzman, J., Gonzalez-Salazar, F., Martínez-Ozuna, G., Jimenez, V., Luviano, A., Palazuelos, D., Fernandez-Flores, R.I., Manzano-Camarillo, M., Picazzo-Palencia, E., Gasca-Sanchez, F. 2021. Epidemiologic impacts in acute infectious disease associated with catastrophic climate events related to global warming in the northeast of Mexico. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, **18**(9), 4433.
- Shen, S., Bian, Y., Zhao, Y. 2017. Energy-efficient CO₂ capture using potassium proline/ethanol solution as a phase-changing absorbent. *International Journal of Greenhouse Gas Control*, **56**, 1-11.
- Shim, J.-G., Lee, D.W., Lee, J.H., Kwak, N.-S. 2016. Experimental study on capture of carbon dioxide and production of sodium bicarbonate from sodium hydroxide. *Environmental engineering research*, **21**(3), 297-303.
- Show, K.-Y., Yan, Y., Zong, C., Guo, N., Chang, J.-S., Lee, D.-J. 2019. State of the art and challenges of biohydrogen from microalgae. *Bioresource technology*, **289**, 121747.
- Song, C., Liu, J., Qiu, Y., Xie, M., Sun, J., Qi, Y., Li, S., Kitamura, Y. 2019a. Bio-regeneration of different rich CO₂ absorption solvent via microalgae cultivation. *Bioresource technology*, **290**, 121781.
- Song, C., Liu, Q., Qi, Y., Chen, G., Song, Y., Kansha, Y., Kitamura, Y. 2019b. Absorption-microalgae hybrid CO₂ capture and biotransformation strategy—A review. *International Journal of Greenhouse Gas Control*, **88**, 109-117.
- Song, X., Bo, Y., Feng, Y., Tan, Y., Zhou, C., Yan, X., Ruan, R., Xu, Q., Cheng, P. 2022. Potential applications for multifunctional microalgae in soil improvement. *Frontiers in Environmental Science*, **10**, 1035332.
- Spalding, M.H. 2008. Microalgal carbon-dioxide-concentrating mechanisms: *Chlamydomonas* inorganic carbon transporters. *Journal of experimental botany*, **59**(7), 1463-1473.
-

- Stuart, B.J. 2011. Addressing the Grand Challenge of atmospheric carbon dioxide: geologic sequestration vs. biological recycling. *Journal of Biological Engineering*, **5**, 1-8.
- Su, Y., Song, K., Zhang, P., Su, Y., Cheng, J., Chen, X. 2017. Progress of microalgae biofuel's commercialization. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, **74**, 402-411.
- Templeton, D.W., Laurens, L.M. 2015. Nitrogen-to-protein conversion factors revisited for applications of microalgal biomass conversion to food, feed and fuel. *Algal research*, **11**, 359-367.
- Vo, H.N.P., Ngo, H.H., Guo, W., Chang, S.W., Nguyen, D.D., Chen, Z., Wang, X.C., Chen, R., Zhang, X. 2020. Microalgae for saline wastewater treatment: a critical review. *Critical reviews in environmental science and technology*, **50**(12), 1224-1265.
- Wang, H., Liu, Y., Laaksonen, A., Krook-Riekkola, A., Yang, Z., Lu, X., Ji, X. 2020. Carbon recycling—An immense resource and key to a smart climate engineering: A survey of technologies, cost and impurity impact. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, **131**, 110010.
- Wang, K., Khoo, K.S., Chew, K.W., Selvarajoo, A., Chen, W.-H., Chang, J.-S., Show, P.L. 2021. Microalgae: the future supply house of biohydrogen and biogas. *Frontiers in Energy Research*, **9**, 660399.
- Wu, Y. 2021. Bicarbonate use and carbon dioxide concentrating mechanisms in photosynthetic organisms. *Acta Geochimica*, **40**(5), 846-853.
- Yeh, K.L., Chang, J.S., chen, W.m. 2010. Effect of light supply and carbon source on cell growth and cellular composition of a newly isolated microalga *Chlorella vulgaris* ESP-31. *Engineering in Life Sciences*, **10**(3), 201-208.
- Zhou, W., Wang, J., Chen, P., Ji, C., Kang, Q., Lu, B., Li, K., Liu, J., Ruan, R. 2017. Bio-mitigation of carbon dioxide using microalgal systems: Advances and perspectives. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, **76**, 1163-1175.
- Zhu, C., Chen, S., Ji, Y., Schwaneberg, U., Chi, Z. 2022. Progress toward a
-

bicarbonate-based microalgae production system. *Trends in Biotechnology*, **40**(2), 180-193.

廢棄菇包裂解產氣利用

Combustible Gas from Waste Mushroom Cultivable Woods Pyrolysis

陳宥圻，中臺科技大學環境與安全衛生工程系 碩士
李易承，中臺科技大學環境與安全衛生工程系 碩士生
張益國，中臺科技大學環境與安全衛生工程系 副教授

摘要

循環經濟結合資源可再生的經濟和產業系統，建立物質循環、利用，形成「資源、產品、再生能資源」的循環模式，並且創造經濟績效。本研究主要將過去視為「農業廢棄物」的廢菇包翻轉成為有用的「生質能源」，配合在地新社菇農廢棄菇包處理，將農業剩餘資材殘留物，經過篩選、混合、乾燥與造粒等加工程序製造產品「固體再生燃料」顆粒，發揮能資源價值。研究過程，採集養菇場之廢棄菇包內容物進行三成分（水分、灰分、可燃分）、熱值、燃燒汙染特性元素組成之能資源利用特性分析，評估廢棄菇包產製固體再生燃料之可行性。

研究結果顯示，廢棄菇包燃料棒熱質濕基低位發熱量為 3,440 kcal/kg，滿足固體再生燃料標準（SRF 標準）中發熱量 $\geq 2,392$ kcal/kg 及 Cl、Pb、Cd、Hg 元素品質規範要求。裂解產氣，CO 濃度為 22.7%；H₂ 濃度為 23.5%、CH₄ 濃度為 19.2%；C_mH_n 濃度為 9.5%，CO₂ 濃度為 11.1%；O₂ 濃度為 1.0%，可燃氣低位發熱量則為 18.32 MJ/Nm³。試驗結果支持廢棄菇包產製固體再生燃料利用，並增進能資源循環利用。

【關鍵字】 廢棄菇包、特性分析、固體再生燃料

一、前言

台灣種植香菇每年就要用掉超過 2 億個太空包（亦稱為菇包），而台中新社為國內香菇的主要產地，供應全台約 8 成的香菇，在大量種植香菇之下，隨之而來的是數量龐大的廢棄太空包（菇包）處理問題（菇包種植示意如圖 1 所示）。廢棄的菇包通常會交由菇包處理廠負責，將裡面的木屑及塑膠材料分開回收使用，含有大量有機質的木屑作為肥料使用，而塑膠封膜等塑膠材料交由回收廠進行回收再利用。而由於廢包處理的價格高漲，1 分地約產生兩公噸廢菇包，每公噸廢菇包清除處理費用 8,000 元（處理價格為 16,000 元／分地），加上人力成本上升，許多菇農只好將廢包暫時堆置於菇舍（如圖 2 所示），甚至有部分菇農隨意棄置，造成環境汙染（農傳媒，2019）。



圖 1、菇包種植示意圖



圖 2、菇包廢棄物堆置示意圖

無論是香菇、金針菇或是杏鮑菇，菇包主要成分有玉米心、木屑、營養物與菌絲等複合材料，目前國內的菇包多是自產自銷，大部分菇農使用相思木等木屑，然而受到國內林業限制，菇包使用的木屑也有一定比例需仰賴進口（環境資訊中心，2019；中小企業綠色環保資訊網，2021）。因應擴大推動再生能源政策，112年11月14日行政院農業部（以下簡稱農業部）修正「農業事業廢棄物再利用管理辦法」，在編號三菇類培植廢棄包，規範其用途有：（1）有機質肥料之原料或栽培介質之原料。（2）再生能源之原料或燃料。上述農業事業廢棄物之再利用技術成熟且廣為應用者，事業及再利用機構得依農業事業廢棄物再利用管理辦法附表一之種類及管理方式逕行再利用。其他非屬附表一之事業廢棄物種類及再利用管理方式，則由事業及再利用機構共同提出個案再利用申請，經中央農業主管機關許可，始得再利用。

本研究主要對廢棄菇包進行特性分析，關懷在地新社地區菇農及公司，針對所產出廢棄菇包之內容物進行（1）水分、灰分、可燃分三成分分析、（2）熱值特性分析、（3）氮、硫、氯、鉛、鎘、汞等燃燒汙染特性元素，評估廢棄菇包燃料化妥適與否及是否添加其他農業資材以滿足其能資源利用，轉變廢棄物為固體再生燃料（Solid recovered fuel, SRF），實現循環經濟，並促進減碳排放。固體再生燃料具有低環境衝擊、低燃料成本及可應用於高能源效率鍋爐及燃燒設施之三大優勢。為推動固體再生燃料的使用，使用符合行政院環境部（以下簡稱環保部）112年1月11日版「固體再生燃料製造技術指引與品質規範」之SRF，不但可將廢棄物中適燃性物質燃料化，減少化石原料及燃料開採及降低空氣汙染物等功能，更因其中含有生質物組成，使用替代化石燃料具有降低溫室氣體的排放效益。

另外，SRF主要之使用者為工業用鍋爐（包含流體化床式鍋爐、鍋爐蒸汽量13公噸/小時以上之大型移動床式鍋爐，如非屬前述型態之工業用鍋爐須經主管機關或目的事業主管機關許可）、水泥旋窯、金屬冶煉業熔爐、窯溫達攝氏1,300度以上且長度大於40公尺之旋轉窯高溫冶煉設施、專用燃燒發電設備且符合再生能源發電設備設置管理辦法之廢棄物發電設備，不涵蓋廢棄物焚化裝置。而相關業者廢氣排放須符合該規定之空氣汙染物排放標準（蔡文田，

2021)。

二、材料與方法

2.1 採樣

採集新社地區養菇場之廢棄菇包內容物進行研究，評估廢棄菇包產製固體再生燃料之特性。

2.2 特性分析

1. 三成分分析（又稱近似分析）

(1) 水分 (NIEA M214.00C)：固體再生燃料經破碎處理至粒徑小於 31.5 mm 後，取適量樣品於 103°C 至 107°C 下加熱乾燥至恆重，計算乾燥前後重量差即為樣品總水分含量。將粒徑小於 31.5 mm 樣品繼續破碎至粒徑小於 1 mm 後，取適量樣品於 103°C 至 107°C 下加熱乾燥至恆重，由樣品之重量損失計算粒徑小於 1 mm 樣品之水分含量。此外，固體再生燃料水分檢測亦可使用市售自動分析設備。

(2) 灰分及可燃分 (NIEA M215.00C)：固體再生燃料經破碎處理至粒徑小於 1 mm 後，取適量樣品於 540°C 至 560°C 高溫爐中，在嚴格控制之加熱時間、樣品量及設備規格條件下燃燒灰化，冷卻後稱重求其殘餘重量，即為樣品之灰分。樣品之可燃分通常不直接測定，而由樣品量減去水分及灰分含量而得之。此外，固體再生燃料灰分檢測亦可使用市售自動分析設備。

2. 熱值 (NIEA M216.00C)

在純氧條件下燃燒一定重量苯甲酸測得彈卡計 (Bombcalorimeter) 之有效熱容量 (Effective heat capacity)，再稱取相當重量固體再生燃料樣品，並在相同條件下燃燒。樣品之總熱值由熱容量乘上溫升修正值，再除以樣品重量計算而得，總熱值扣除燃燒時水分生成蒸氣狀態所需熱量即為淨熱值。

3. 硫氮元素 (NIEA M217.00C)

將前處理至粒徑小於 1 mm 之固體再生燃料樣品，在含有氧氣之燃燒容器

中燃燒，樣品中鹵化物及硫化物燃燒後產物經吸收液吸收後，分別轉換為硫酸鹽、氯鹽。使用離子層析儀或其他適當設備定量吸收液中之硫酸鹽、氯鹽濃度，換算成樣品中硫、氯含量；自動分析設備亦可作為分析替代之儀器使用，如紅外線偵測硫含量測定儀或元素分析儀分析樣品中硫及氯含量。

4. 重金屬元素 (NIEA M360.00C)

將預處理好之固體再生燃料樣品使用氟硼酸（或氫氟酸）、硝酸及鹽酸加熱消化，消化液稀釋至適當體積後，鎘、鉛元素以感應耦合電漿原子發射光譜儀（ICP-OES）、進行分析；另汞則使用 CVAAS 檢測。

實驗中所使用的儀器設備：

- (1) 振動篩機：Retsch
- (2) 烘箱：Ching Ying Model C1-12E。
- (3) pH meter：Suntex Model SP-7。
- (4) 電子天平：AD，GR-200，精度小數點以下三位。
- (5) 去離子水製造機：Milli-Q RO
- (6) 薄膜濾紙：Cellulose Nitrate 材質，MFS 公司，孔徑 0.45 μ m。
- (7) 超音波震盪器：ULTRASONIC CLEANER
- (8) 感應耦合電漿光譜分析儀（ICP）：Perkin Elmer，Optima 8000。

三、結果與討論

3.1 廢棄菇包採樣結果

樣本採自新社某企業社，於該公司將廢棄菇包製成燃料棒，如圖 3 所示。



圖 3、廢棄菇包燃料棒

3.2 基本特性分析

將廢棄菇包燃料棒進行水分、灰分、可燃分分析等三成分分析，其結果為水分 8.76%、灰分 1.83%、可燃分 89.41%。元素分析為廢棄物熱處理方式過程中最重要的操作參數，由元素分析法求得廢棄物中碳(C)、氮(N)、氫(H)、氧(O)、硫(S)、氯(Cl)等各元素之百分比，可作為推估每(kg)廢棄物低位發熱量資料、推測 SO_x、NO_x、HCl 等氣體之發生源及發生量。廢棄菇包燃料棒元素分析檢測結果如表 1 所示。可看出碳、氧含量高；含氮量 0.2%，略超過固定污染源初級固體生質燃料≤0.1%標準，但仍滿足 SRF≤3%標準；含硫量 0.07%，均高於固定污染源初級固體生質燃料≤0.05%標準。

以 Dulong 式及元素分析結果計算木質資材濕基低位發熱量，

$$LHV = 81C + 342.5 \left(H - \frac{1}{8} \times O \right) + 22.5S - 6(W + 9H) \quad (\text{kcal/kg})$$

廢棄菇包燃料棒樣品

$$LHV=81*40.75+342.5*(5.01-40.98/8)+22.5*0.07-6(8.76+9*5.01)=2,898 \text{ kcal/kg}$$

經彈卡計實測值，到達基為 3,440 kcal/kg。

表 1、廢棄菇包燃料棒三成分、元素分析及重金屬分析

	items	unit	Sample1	Biofuel regulation (Taiwan)	SRF regulation (Taiwan)
Proximate analysis	Moisture content	%	8.76	--	--
	Ash	%	1.83	--	--
	Combustible matter	%	89.41	--	--
Ultimate analysis	C	%	40.75	--	--
	H	%	5.01	--	--
	O	%	40.98	--	--
	N	%	1.40	--	--
	S	%	0.07	≤0.05	--
	Cl	%	0.20	≤0.1	≤3
Calorific analysis	LHV	kcal/kg	3,440	≥3,000	≥2,392
Metallic analysis	Pb	mg/kg	0.134	≤20	≤150
	Cd	mg/kg	ND(<0.001)	≤1	≤5
	Hg	mg/kg	ND(<0.0001)	≤0.1	≤5

依行政院環境部（2020）公私場所固定污染源燃料混燒比例及成分標準，固定污染源初級固體生質燃料規範熱值滿足 3,000 kcal/kg 以上、氯含量 0.1% 以下、硫含量 0.05% 以下、鉛含量 20 $\mu\text{g/g}$ 以下、鎘含量 1 $\mu\text{g/g}$ 以下、汞含量 0.1 $\mu\text{g/g}$ 以下。另依據行政院環境部（2023），固體再生燃料製造技術指引與品質規範，固體再生燃料熱值能滿足 2,392 kcal/kg 以上、氯含量 3% 以下、汞及鎘 5 mg/kg 以下、鉛 150 mg/kg 以下。分析結果顯示，廢棄菇包燃料棒所分析之鉛、鎘、汞重金屬均低於固定污染源初級固體生質燃料規範值要求、低於固體再生燃料製造技術指引與品質規範值要求，顯示廢棄菇包燃料棒適合使用。

3.3 廢棄菇包燃料棒裂解產氣

熱裂解是將廢棄物置於 350~900°C（低溫、中溫、高溫）的溫度與低空氣比狀況下，使廢棄物經熱分解而成燃料瓦斯，這些瓦斯可供燃燒、產生蒸汽發電。達減量化、資源化之目的。熱裂解（pyrolysis）乃利用還原狀態，將廢棄

物中之有機物加熱行化學分解之程序；有機物因加熱分解及凝縮反應形成氣態、液態與固態產物，含有高溫度之 HC、CO、H₂ 等可燃性氣體及油、焦炭（char）等。本研究利用高溫 900°C 裂解反應，並控制固體再生燃料含水率，將上述廢棄菇包燃料棒送入高溫裂解爐（如圖 4 所示），分析可燃氣特徵。



圖 4、高溫裂解爐

經進料、裂解、產氣，現場以煙道氣體分析儀直接量測 CO、O₂、CmHn 氣體濃度，並以 SKC 10 公升 Tedlar 採氣袋收集氣體，再利用 GC-TCD 分析 H₂、CH₄、CO₂ 氣體濃度，分析結果顯示，裂解產氣 CO 濃度為 22.7%；H₂ 濃度為 23.5%、CH₄ 濃度為 19.2%；CmHn 濃度為 9.5%，CO₂ 濃度為 11.1%；O₂ 濃度為 1.0%，可燃氣低位發熱量則為 18.32 MJ/Nm³。彙整如表 2 所示。

表 2、廢棄菇包燃料棒裂解產氣氣體分析值

項目	濃度單位	裂解產氣氣體分析值
CO	%	22.7
H ₂	%	23.5
CH ₄	%	19.2
CmHn	%	9.5
CO ₂	%	11.1
O ₂	%	1.0
低位發熱量	MJ/Nm ³	18.32
	kcal/ Nm ³	4,382

根據 Kantarelis et al (2009) 研究，可依 CO、H₂、CH₄ 與 CmHn 含量計算可燃氣低位發熱量 (LHV)：

$$\begin{aligned}
 \text{LHV} &= (30[\text{CO}] + 25.7[\text{H}_2] + 85.4[\text{CH}_4] + 151.3 \cdot [\text{CmHn}]) \cdot 4.2 / 1000 \quad \text{MJ/Nm}^3 \\
 &= 18.32 \text{ MJ/Nm}^3 \\
 &= 4,382 \text{ kcal/ Nm}^3
 \end{aligned}$$

四、結論與建議

4.1 結論

1. 廢棄菇包產製燃料棒，符合「農業事業廢棄物再利用管理辦法」編號三菇類培植廢棄包，之再利用用途規範，當成再生能源之原料或燃料。

2. 廢棄菇包燃料棒熱質（到達基）為 3,440 kcal/kg、氯含量 0.2%、鉛 0.13 mg/kg、汞及鎘均未檢出。滿足固體再生燃料製造技術指引與品質規範值要求熱值 2,392 kcal/kg 以上、氯含量 3% 以下、汞及鎘 5 mg/kg 以下、鉛 150 mg/kg 以下。顯示廢棄菇包燃料棒適合 SRF 製造使用。
3. 廢棄菇包燃料棒裂解產氣，CO 濃度為 22.7%；H₂ 濃度為 23.5%、CH₄ 濃度為 19.2%；C_mH_n 濃度為 9.5%，CO₂ 濃度為 11.1%；O₂ 濃度為 1.0%，可燃氣低位發熱量則為 18.32 MJ/Nm³，應具發電效益。

4.2 建議

1. 建議後續進行廢棄菇包燃料棒能源化發電效益評估，也更能進一步評估減碳效能。

參考文獻

Kantarelis, E., P. Donaj, W. Yang and A. Zabaniotou (2009). Sustainable valorization of plastic wastes for energy with environmental safety via High-Temperature Pyrolysis (HTP) and High-Temperature Steam Gasification (HTSG). *Journal of Hazardous Materials*, 167, 675–684.

中小企業綠色環保資訊網（2021）。循環經濟輔導案例分享-利用廢菇包能源化發展創新商業模式。取自

<https://green.pidc.org.tw/detail.php?lang=tw&type=4&id=309>。讀取日期 2024 年 4 月 30 日。

行政院農業部（2023）。農業事業廢棄物再利用管理辦法。民國 112 年 11 月 14 日。

行政院農業部農糧署農情報告資源網。農情調查資訊查詢／各類作物種植面積查詢。取自 https://agr.afa.gov.tw/afa/afa_frame.jsp。讀取日期 2024 年 4 月 30 日。

行政院環境部（2023）。固體再生燃料製造技術指引與品質規範。民國 112 年 1 月 11 日。

行政院環境部國家環境研究院（2021a）。固體再生燃料中水分檢測方法，NIEA M214.00C。

行政院環境部國家環境研究院（2021b）。固體再生燃料中灰分及可燃分檢測方法，NIEA M215.00C。

行政院環境部國家環境研究院（2021c）。固體再生燃料中金屬及微量元素檢測方法，NIEA M360.00C。

行政院環境部國家環境研究院（2021d）。固體再生燃料中硫、氯、氟及溴含量檢測方法，NIEA M217.00C。

行政院環境部國家環境研究院（2021e）。固體再生燃料熱值檢測方法—彈卡計法，NIEA M216.00C。

農傳媒（2019）。【菇農心聲】種過香菇後的廢棄太空包處理費 10 年漲 1 倍！菇農苦。取自 <https://www.agriharvest.tw/archives/19650>。讀取日期 2024 年 4 月 30 日。

蔡文田（2021）。淺談固體再生燃料（SRF）的發展問題。國立成功大學能源教育資源總中心專欄新知。

儲槽完整性管理的良好工程實務概述

Best Practice for Tank Integrity Management

陸彥儒，國立高雄科技大學/設備可靠度與系統安全技術研發中心 博士

王振華，國立高雄科技大學/環境與安全衛生工程系 教授

聯絡作者: luyj725@gmail.com

摘要

儲槽是輸儲大量化學品功能的重要設備。本文探討儲槽完整性管理的重要性與實踐方法，並從文獻調查的角度切入，談儲槽完整性（tank integrity）的管理策略，並引進相關的技術，以強化管理的執行。

【關鍵字】 儲槽完整性管理、設備完整性、良好工程實務、

風險基準檢查（RBI）、以可靠度為中心的維修保養（RCM）

一、前言

儲槽 (Tank) 是重要的輸儲設備，在各類工業中扮演著大量化學品的儲存功能。因此，其設備的健全相當重要。由於該設備儲內存大量的化學品，若設備發生失效 (failure)，將造成大規模的製程安全事故。台灣的製程安全評估定期實施辦法中的設備完整性子項規定為「對壓力容器與儲槽、管線 (包括管線組件如閥)、釋放及排放系統、緊急停車系統、控制系統 (包括監測設備、感應器、警報及連鎖系統)、泵浦等製程設備執行下列事項，以確保製程設備程序完整性：…」。

儲槽是法令列管的重要設備。

根據 Chang & Lin (2006) 調查 1960 至 2003 年期間，儲槽相關的事故案例共 242 件，並彙整儲槽事故發生原因，如下表 1 所示。當中可發現與設備相關的議題有五個，分別為：maintenance/hot work、Equipment failure、Sabotage、Crack/rupture、Leak and line rupture，占比為 41 (%)。換言之，維繫好儲槽設備的健全，不僅有助於降低企業的重大事故危害的相關風險，同時也可提升企業的相對競爭力。

表 1、儲槽設備致災原因彙整表 (Chang & Lin, 2006)

Year	1960-1969	1970-1979	1980-1989	1990-1999	2000-2003	Total
Lightning	4	10	19	37	10	80
Maintenance/hot work	1	5	9	12	5	32
Operational error	1	5	6	8	9	29
Equipment failure	3	1	5	7	3	19
Sabotage	2	5	2	6	3	18
Crack/rupture	0	3	3	3	8	17
Leaks and line rupture	0	3	2	5	5	15
Static electricity	2	1	2	2	5	12
Open flame	1	0	4	2	1	8
Nature disaster	1	2	1	1	2	7
Runaway reaction	2	1	0	2	0	5
Total	17	36	53	85	51	242

另外，美國石油協會 (API) 調查指出，運作超過 15 年的儲槽，發生失效的可能性顯著提高，如表 2 所示。若發生事故。根據陸彥儒、王振華 (2022) 調查指出，台灣本土石化業，則有六成的石化廠已運轉超過 25 年，因此率先管理老舊儲槽，是儲槽完整性中最為重要的課題。

表 2、儲槽設備運轉時間與發生破漏的比例表 (API, 2006)

Table A.6.1: Summary of Survey Results

Population Description	Number of tanks	Percent with bottom leaks in last 5 years	Number with bottom leaks in last 5 years	Tank years*	Bottom leak frequency (1988-1993)
Tanks < 5 years old	466	0.9%	4	2330	1.7×10^{-3}
Tanks 6-15 years old	628	3.8%	24	3140	7.6×10^{-3}
Tanks > 15 years old	9204	3.8%	345	46020	7.5×10^{-3}
All tanks in survey	10298	3.6%	373	51490	7.2×10^{-3}

* Tank years = number of tanks × average number of years in service

台灣主要工廠與民生用油的油槽單位為台灣中油股份有限公司高雄營業處橋頭供油中心。橋供中心之油槽數量不僅為高雄最多（達 34 座），同時供油量也是高雄最高（占 90%）。因此，供油站將面臨龐大的油量供給，以及複雜的供油調度等巨大壓力。因此，確保儲槽的完整性極為重要。

鑒於上述，為協助讀者強化儲槽管理，本研究從文獻調查的角度切入，談儲槽完整性（tank integrity）的管理策略，並引進相關的技術，以強化管理的執行。本文並不談論相關技術內涵，僅就達到儲槽完整性管理之目標，綜覽於本文中。

二、儲槽完整性管理方針

儲槽的完整性管理有三大方面需要掌握，如下：

1. 儲槽在結構和功能是完整的；
2. 儲槽處於風險受控狀態；
3. 儲槽的狀態可滿足當前安全運行要求。

儲槽完整性應包含的基本原則：

1. 儲槽完整性管理，應涵蓋全生命週期，包括：設計、施工、運行、維護及報廢。
2. 資料獲取、文件管理工作應從設計期開始，並在管理全過程中持續進行。
3. 應明確完整性管理的部門及職責要求，並對完整性管理相關人員進行

訓練。

4. 應建立針對完整性管理工作內容和效果的績效評估方法，並通過持續追蹤績效以不斷改進完整性管理工作。

儲槽完整性體系是設備完整性（M）制度的一分支。內涵如下**錯誤！找不到參照來源。**

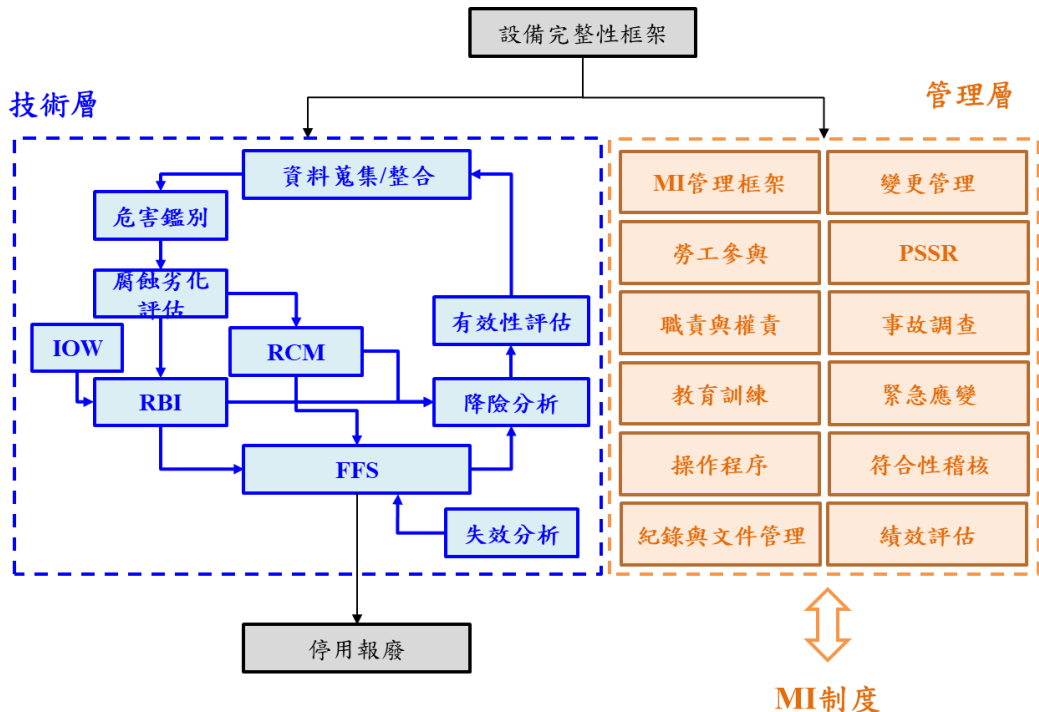


圖 1、儲槽完整性框架

圖中藍色部分為技術層，橘色則為管理層。其中個縮寫 RBI 為風險基準檢查、RCM 為以可靠度為中心的維修保養、IOW 為完整性操作視窗；FMECA 為失效模式、效應與關鍵性分析；FFS 為適用性評估；PSSR 為開俾前安全審查。

在技術層中，透過危害鑑別，清查會造成儲槽失效的各種原因，並接續展開腐蝕劣化評估，以掌握設備發生破漏的原因與機制。接著展開 RBI、RCM，以及 FFS 等，從而全面掌握設備破漏的風險。之後執行降險分析，制定出廠內未來執行的各種任務，最後則是執行有效性評估，以檢視任務執行的落實性，

並提出改善方案，從而達到循環管理的目標。當設備經上述評估為不宜於繼續操作時，則進行停用報廢。在管理層中，相關內容幾乎同於製程安全評估定期實施辦法所列之事項，而此部份已有許多文獻做討論，本文不疊床架屋做重複性的探討。

有關技術層的第一步，也是關鍵的即為危害鑑別。該過程中須清查造成儲槽失效的各種原因。根據 API 340 指出儲槽破漏的各種原因。甚至表中羅列對應控制措施、成本等資訊，如下表 3 所示。

表 2、儲槽失效原因與對應方式彙整表（摘錄）（API, 1996）

Release Category	Cause	Control Measure Options	Type of Control Prevention Detection Protection	Control Measure Reference (see Table 2)	Retrofit Cost	O & M Cost
Overfill releases / Spill through tank vents	Human error	• Written operations procedures / schedule	P	5A	Low	Medium
		• Operator training	P	5A	Low	Medium
		• Overfill protection system alarms and instrumentation ²	P	3B	Medium-High	Medium-High
		• Manual product level verification before & during receipt	P	3A	Low-Medium	Low-Medium
		• Automatic product level verification before & during receipt	P	3B	Medium-High	Medium-High
		• Tank farm secondary containment dike / berms	Pro	28	High	Low
Equipment failure	Equipment failure	• Tank farm dike yard liners	Pro	29	Very High	Medium-High
		• Planned and documented inspections in accordance with API STD 653	P	13A	N/A	Low
		• Automatic tank gauging system	P	13B	N/A	Medium
		• Manual product level verification before & during receipt	D	21B	Medium	Medium
		• Overfill protection system alarms and instrumentation ²	P	3A	Low-Medium	Low-Medium
		• Programmed, preventative maintenance and testing	P	3B	Medium-High	Medium-High
Slow Releases /Shell release	1. External corrosion 2. Corrosion under insulation 3. Internal corrosion	• Tank farm secondary containment dike / berms	Pro	5B	Medium-High	Medium
		• Internal cathodic protection for internal corrosion	Pro	28	High	Low
		• External coating of steel tank	P	2B	Medium	Medium
		• Planned and documented inspections in accordance with API STD 653	P	13A	N/A	Low
		• Steel tank product side lining or coating	P	13B	N/A	Medium
		• Routine walk around inspections	P	2A	Medium-High	Low-Medium
Weld crack	Weld crack	• Tank farm dike yard liners	D	25	N/A	Low
		• Internal cathodic protection for internal corrosion	Pro	29	Very High	Medium-High
		• Planned and document inspections in accordance with API STD 653	P	35	High	Low-Medium
		• Routine walk around inspections	P	13A	N/A	Low
		• Tank farm secondary containment dike / berms	P	13B	N/A	Medium
			D	25	N/A	Low
			Pro	28	High	Low

以下列出技術層，對評估項目之技術對照表，如下表 4 所示。其中，RBI 與 RCM 的關聯性，根據 EEMUA 159 (EEMUA, 2018) 指出，如果設備的失效屬於可追蹤 (Trendable) 者，則可採用 RBI，反之則執行 RCM。

表 3、儲槽設備完整性評估項目與相關技術對照表〔本研究整理〕

評估方向	評估項目		安全評估技術
結構完整性	整體	整體	RBI、IOW、FFS
	胴體	殼體/底板/頂板	RBI、FFS
	元件與胴體連結處	噴嘴焊道裂痕	RBI、FFS
		不同焊道層	FFS
		頂板（浮頂）變形	FFS
	儲槽本體	底板沉降 （Bottom settlement）	RCM、FFS
		邊界沉降（Edge settlement）	RCM、FFS
		垂直度喪失 （out of plumbness）	RCM、FFS
		真圓度喪失 （out of roundness）	RCM、FFS
		殼變形（Shell distortions）	RCM、FFS

具體指出 RBI 與 RCM 中元件宜使用的方法，可參考 EEMUA 159，以下摘錄元件對照表，參照表 5。表中指出元件（Main item）、子元件（Component）、元件功能（Main function）、失效模式（failure mode）、失效後果（failure consequence）、失效影響（failure effect）、原因（Causes），以及宜使用的分析方法（RBI/RCM）。有關 RBI 技術方法之說明，可參考 API 581 Risk based Inspection（API, 2016），而 RCM 則是參考 SAE JA1012,2002. A Guide to the Reliability-Centred Maintenance（RCM）Standard（SAE, 2002）。

表 5、儲槽設備完整性評估項目與相關技術對照表 (EEMUA, 2018)

Table E-1 Typical failure modes for bottom and shell

Main item	Component	Main function	Failure Mode (Cause of Failure)	Failure Consequences	Failure Effects (what happens when it fails)	Causes	RBI	RCM
Bottom	Plates	To hold product within the tank	Corroded plates	Thinning, leakage	Loss of containment	Coating breakdown, corrosiveness of product, water accumulation, deposits (sludge), poor drainage, high water table, poor soil conditions, settlement, tank pad height	X	
	Annular plates	To hold product within the tank	Corroded plates	Thinning, leakage	Loss of containment	As above	X	
		Provide rigidity to bottom-shell connection	Excessive bending of annular section	Cracking	Loss of structural integrity	As above	X	
	Sump(s)	Drainage of product or water	Corroded plates	Thinning, leakage	Loss of containment	As above (except for 'poor drainage')	X	
	Cathodic protection	To prevent corrosion	Part of system fails due to improper functioning	Corrosion of bottom plates	Loss of corrosion protection	Poor maintenance soil condition (including contamination), product type		X
Shell	Plates	To hold product within the tank	Corroded plates	Thinning, leakage	Loss of structural integrity (increased buckling tendency), loss of vapour and liquid containment through hole(s)	Coating breakdown, corrosiveness of product, water accumulation	X	
	Wind girder	To provide stability to tank shell	Corroded girders	Thinning	Loss of structural integrity (increased buckling tendency of tank shell)	Coating breakdown		X
	Stairs	To provide access to roof and sampling points	Unable to carry live load due to corroded structural components	Access denied	Loss of structural integrity	Coating breakdown (ageing, wear and tear) leading to corrosion, water trap		X

儲槽的頂板、壁板（含壁板及底板的連接部位）、底板和儲槽基礎，存在缺陷（如：變形、損傷、腐蝕…等），且超出 API 581 的適用範圍時，儲槽應執行適用性評估，以判斷其能否在給定液位下可否繼續使用。若無法通過評估時，應進行修理或更換。此部份相關技術說明，宜參考 API 579 Fitness for Service (API, 2021)。

下表 6 為設備中重要元件對應 API 579 分析章節之對照表。

表 4、儲槽設備元件對應損傷型態與適用性評估章節表〔本研究整理〕

元件	檢查項目	損傷型態（缺陷）	API 579 章節
整體	整體	減薄/裂痕	Part 4 L1/2 Part 9 L1
胴體	殼體/底板/頂板之厚度	均勻減薄/局部減薄	Part 4 L1/2/3 Part 5L1/2/3
元件與胴體連結處	噴嘴焊道裂痕	裂痕	Part 9 L2/3
	不同焊道層	焊接不對心/裂痕	Part 8 L1/2
	頂板（浮頂）變形	殼變形	Part 8 L3(FEM)
儲槽本體	底板沉降 (Bottom settlement)	殼變形	Part 8 L3(FEM)
	邊界沉降 (Edge settlement)	殼變形	Part 8 L3(FEM)
	垂直度喪失 (out of plumbness)	殼變形	Part 8 L3(FEM)
	真圓度喪失 (out of roundness)	真圓度喪失	Part 8 L1/2
	殼變形 (Shell distortions)	殼變形	Part 8 L3(FEM)

在使用降險分析制定相關計畫時，應考慮以下項目：

1. 應採用有效降險措施以最大化降低風險評估中的不可接受風險。
2. 降險措施可以從降低可能性和／或失效後果兩方面進行考慮。
3. 可能的降險措施如：日常巡護、缺陷修理等。
4. 儲槽維護單位，應建立儲槽基本資訊、儲槽完整性管理制度（宜與既有制度延伸或結合）、儲槽相關 ITPM。儲運單位應定期收集操作層面的健康資訊，並提供給工務單位。
5. 儲運單位、工務單位與工安單位三方應檢討危害與風險，並制定後果相應的緊急應變計畫。

執行有效性，檢視儲槽完整性的健全程度時，應考慮以下項目：

1. 建立儲槽的稽核計畫，制定查核週期。該計畫宜整合於 PSM 中符合性稽核計畫中。
2. 建立 MI 績效指標與特定設備的績效指標。
 - (1) 性能指標：用以衡量儲槽的性能和安全狀態。
 - (2) 操作與維護指標：用於衡量儲槽是否得到有效維護；
 - (3) 事件指標：用於衡量儲槽的事件發生頻率。

三、結論

本研究談儲槽完整性 (tank integrity) 的管理策略。研究針對儲槽的問題提供系統性的解決方案，包含：完整性管理系統的技術與管理內涵，並勾勒完整的循環管理的程序。除此之外，也簡要說明通過實施風險基準檢查 (RBI)、以可靠度為中心的維修 (RCM) 和完整性操作視窗 (IOW) 等策略，能有效識別潛在危害，評估設備當前的安全狀態，並進行適當的維護或更新，以延長設備的服務壽命並降低事故發生的機率。

儲槽完整性是涵蓋全生命週期的管理模式，才能夠確保設備功能是持續健全，而用以維持管理系統的人員，應訂定職責權責並實施教育訓練。最後持續追蹤績效，以不斷改進完整性管理工作。

參考文獻

- API Publ 340 (1996). Liquid Release Prevention and Detection Measures for Aboveground Storage Facilities. [online]
<https://standards.globalspec.com/std/257329/api-publ-340> (Accessed 26 April 2024)
- API Pub 353 (2006). Managing Systems Integrity of Terminal and Tank Facilities; Managing the Risk of Liquid Petroleum Releases. [online]
<https://standards.globalspec.com/std/412922/api-publ-353> (Accessed 26 April 2024)
- API RP 581 (2016). Risk-Based Inspection Methodology, 3rd. [online]

https://global.ihs.com/doc_detail.cfm?&item_s_key=00512451&item_key_date=790230&input_doc_number=API%20RP%20581&input_doc_title=
(Accessed 26 April 2024)

API 579-1 (2021). Fitness for Service. [online]

https://global.ihs.com/doc_detail.cfm?&item_s_key=00496068&item_key_date=780031&input_doc_number=API%20579&input_doc_title= (Accessed 26 April 2024)

Chang, J. I. & C. C., Lin (2006). A study of storage tank accidents. *Journal of loss prevention in the process industries*, 19(1), 51-59.

EEMUA 159 (2018). Above Ground Flat Bottomed Storage Tanks - A Guide to Inspection Maintenance and Repair. [online]

https://www.intertekinform.com/en-us/standards/eemua-159-2018-494332_saig_eemua_eemua_2623495/ (Accessed 26 April 2024)

SAE JA1012 (2002). A Guide to the Reliability-Centred Maintenance (RCM) Standard. [online] chrome-

extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://ifmaindy.org/images/downloads/RCM/a_guide_to_the_rel_centered_maint_rcm_standard.pdf
(Accessed 26 April 2024)

陸彥儒、王振華 (2022)。老化設備的良好工程實務概述。工業安全衛生，399 期，頁 42-52。

比較風險基準檢查中不同後果等級對承壓設備管理的影響性

Comparative Analysis of Consequence Levels in Risk-Based Inspection on Impact of Pressure Equipment Management

陸彥儒，國立高雄科技大學/設備可靠度與系統安全技術研發中心 博士

黃詠盈，國立高雄科技大學 環境與安全衛生工程系 碩士

王振華，國立高雄科技大學/環境與安全衛生工程系 教授

聯絡作者: luyj725@gmail.com

摘要

石化及化工業被普遍認為是具有重大危害的製程產業。從數件事務調查報告顯示超過一半比例是來自於設備失效所導致。因此，如何妥善管控重大事故危害相關的安全關鍵設備，並保證設備的功能健全，已是現今工廠必須克服的議題。風險基準檢查（RBI）是透過制定妥適的檢查計畫，以確保設備發生破漏的風險得以被控制。RBI 方法提出兩種不同的後果等級，但並未詳述兩者差異。本文從質性比較及案例比對，討論兩方法的程序及結果上的差異及其影響性，並提出分析上的實務建議，以強化設備管理。

【關鍵字】後果分析、風險基準檢查、設備完整性、安全關鍵設備、火災爆炸

一、前言

石化及化工業被普遍認為是具有重大危害的製程產業 (Sklet, 2006)。原因不外乎是，使用大量具有高危害的化學品，或是操作於極端條件。又從數件事務調查報告顯示，該產業所發生的重大事故 (以下簡稱為 PSM 事故) 後果不僅相當顯著外，事故發生機率也相當低。如：Bhopal disaster 造成逾數萬人死亡，50 多萬人不可逆傷害，財產損失達 9 億美金 (Palazzi et al., 2015)、Flixborough disaster (Saleh et al., 2014)，造成了 28 人死亡，約 24 公頃面積的植物全數凋零、BP Texas refinery explosion (Crawl and Louvar, 1990)，造成了 15 人死亡，180 人受傷，財產損失約數十億美金。為妥善管理 PSM 事故，美國職安署推出高危害化學品製程安全管理法令 (Process safety management of highly hazardous chemicals.)。其他國家發現重要性後，也紛紛效仿發布相關的規範，如：英國於 1999 年頒布重大事故危害控制條例 (Control of Major Accident Hazards, COMAH)、新加坡於 2017 年頒布重大危害設施條例 (Major Hazard Installations, MHI)。台灣在修訂職業安全衛生法時，參照美國 OSHA PSM 法條，建立製程安全評估定期實施辦法，為我國的製程安全管理法令。這些法令制定目的就是預防及緩解 PSM 事故。PSM 法條創立至今，事故發生比例有下降趨勢，但這仍無法達到社會民眾的期望。因此，過去有數位學者調查 PSM 事故發生的關鍵因子 (Causal factors)，期望從中發現優先管制的項目。Crawl 等人發現超過一半比例是來自於設備失效所導致 (Crawl and Louvar, 1990)。而 ASME 調查後也有相同趨勢 (ASME., 2008)。另外，英國的職安署及 CCPS 也發現對於老舊的工廠而言，事故的根本原因也有相同的趨勢 (CCPS., 2018; IOGP., 2020)。IOGP 基於 API RP 754 製程安全績效指標，於 2020 年調查全球 2014 到 2020 年期間的 PSM 事故，並依照致災數量由高至低排序 PSM 事故的關鍵因子。結果顯示前十關鍵因子中，有五個個與設備完整性有關 (CCPS., 2016)。上述文章的共同結論都指向，如果可管控好重大危害相關的安全關鍵設備 (Safety Critical Element, SCE)，並保證設備的功能健全，則能夠顯著降低 PSM 事故的發生率。

固定設備是工廠中蘊含重大危害的對象之一，此類設備往往操作於高壓高溫等條件下，甚至運轉高危害化學品。因此設備發生失效而造成事故時，後果

規模如同前述的事故案例。但不幸的是這類設備在未出事前，表面上的劣化其實不易發現。因此，我們必須對此類設備進行檢查，以提前檢知設備的狀況。

惟工廠中有相當多的固定設備（含管線），其數量並非工廠同仁可完整檢查的，而且有些設備的關鍵性相對於製程設備而言較低。妥善配置檢測能量，其實有助於提升工廠的檢測架化的執行效率，同時也可降低設備發生破漏的風險。

API 581 是目前國際上最被常使用評估石化及化工廠內固定設備的破漏風險。該文件是由美國石油協會發佈。起草於 1996 年。當前最新版為第三版 2016 發佈，之後在 2019 及 2020 年又提出錯誤內容的更新文件。

風險基準檢查（Risk based inspection）即協助制定固定設備的檢測計畫。技術本身從量化出發，透過評估發生破漏的可能性及後果嚴重程度，來推估設備風險，其後搭配檢測規劃以降低設備破漏風險。

該技術正因有上述優勢，因此已被國內法規列為必須執行的分析，以確保危險性設備內部檢查延長無破漏之虞。在 2022 年工業局的林園績效指標中也要求需使用該方法。顯見該方法的具高度的實務應用價值。

至於，RBI 的後果分析反而著墨的相當少，可謂根本沒有。這可能的原因是 RBI 技術在歷經多次改版下，後果模型其實並未被顯著地調整，且已有許多後果分析軟體被發佈，如：ALPHA、PHAST、SLAB...等。某種程度是暗示各後果模型的理論面已成熟。但這不代表 RBI 的後果實務層面，已被完整研究。

於陸彥儒、王振華（2023）中深入討論 RBI 的後果實務應用中，可能存在會導致分析結果保守有哪些，甚至使 RBI 方法提出不正確結果的情況。

於 RBI 中後果分成兩個等級，分別為 Level 1 及 Level 2，兩方法的目標都是分析，設備管線發生破漏時的後果面積及財物損失。Level 1 採用代表性流體的方式，分析迴路中的所有設備管線，該方法計算快速。而在 Level 2 中，則是考量實際內容物的物化性質，並實際考慮點火機率、洩漏相態等，計算過程相當複雜。但是作者回顧目前國內尚未有文章談及兩等級之顯著差異，以及

該如何挑選等級，從而使分析結果可更為真實。

除此之外，根據文獻 WRC. (2014) 調查高雄大社工業區內各公司使用化學品，結果顯示於 58 種化學品之中，需以 Level 2 後果分析的化學品共 27 個，約為 46%。代表 Level 2 的準確性是為相當重要。

基此之故，本文嘗試從管理實務及案例應用出發討論兩等級的差異。

二、RBI 方法概述

風險基準檢查是透過評估固定設備發生破漏的可能性，及其造成後果嚴重程度，從而得知設備的風險，並據以提出相應的檢查方案，以降低設備發生不預期破漏的可能性。以下就 RBI 的重點進行概要性的回顧。

在可能性 (PoF) 部份包含：管理修正因子 (FMS)、同類失效率 (gff) 及損傷因子 (Df)。其中，管理修正因子是透過調查工廠製程安全管理的現況，並予以評分，以評估機率的修正比例。同類失效率是指設備類型（如：塔槽、熱交換器、管線等）發生破漏的頻率。而損傷因子是指出設備存有腐蝕劣化狀況下，發生破漏的機率。

在後果 (CoF) 部分則與化工製程量化風險評估程序相近。即是評估化學品洩漏後，所產生的後果，共包含九個。可歸類為：火災/爆炸、毒化物擴散、非毒非燃後果等。火災爆炸的後果包含：池火、火球、噴射火焰、閃火、蒸氣雲爆炸 (VCE)；非毒非燃的後果包含：液體沸騰膨脹蒸氣爆炸 (BLEVE)；物理爆炸、酸鹼噴濺等。在後果部份 API 581 考量實務的可行性，將其分成 Level 1 及 Level 2 兩等級。Level 1 採用代表性流體與簡化的後果評估式來推斷後果規模。Level 2 則是考量實際的化學品、後果模型等來評估，因此其結果較為準確。

在風險的部份，則是衡量設備的前述兩因子，以推斷風險等級。在 API 581 中採用風險矩陣方式，以歸類設備的風險，如下圖 1。另一方法是採用柏拉圖的方式，找出損失與設備的百分比，如下圖 2。

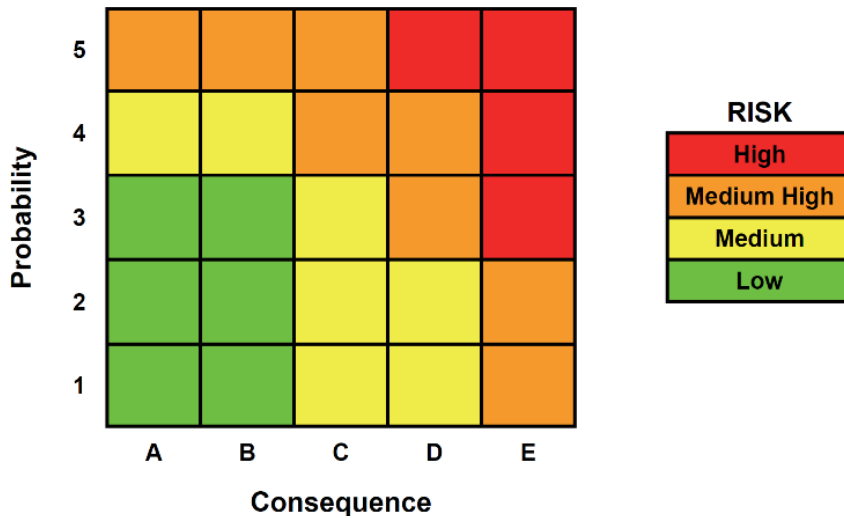


圖 1、風險矩陣 (API, 2016)

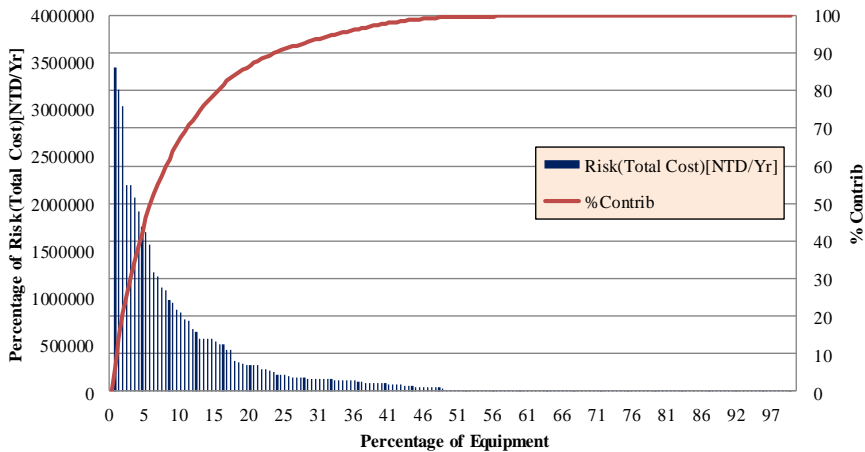


圖 1、柏拉圖 (陸彥儒、王振華, 2023)

由於後果在決定設備的內容物、操作條件、尺寸後，基本上是固定的，不會因為檢查與否而有所調整，除非調降內容物的成分比例、操作條件。因此，檢查規劃對於風險降低對象是可能性。在評估過程中，透過貝氏理論的方式，將檢查能量（即檢查方法、次數、面積等）作為修正因子，將設備原始的破漏機率視為先驗機率而考量檢查後的破漏機率則訂為後驗機率。減薄缺陷的破漏機率之詳細說明，可參考 WRC 545 (WRC., 2014)。

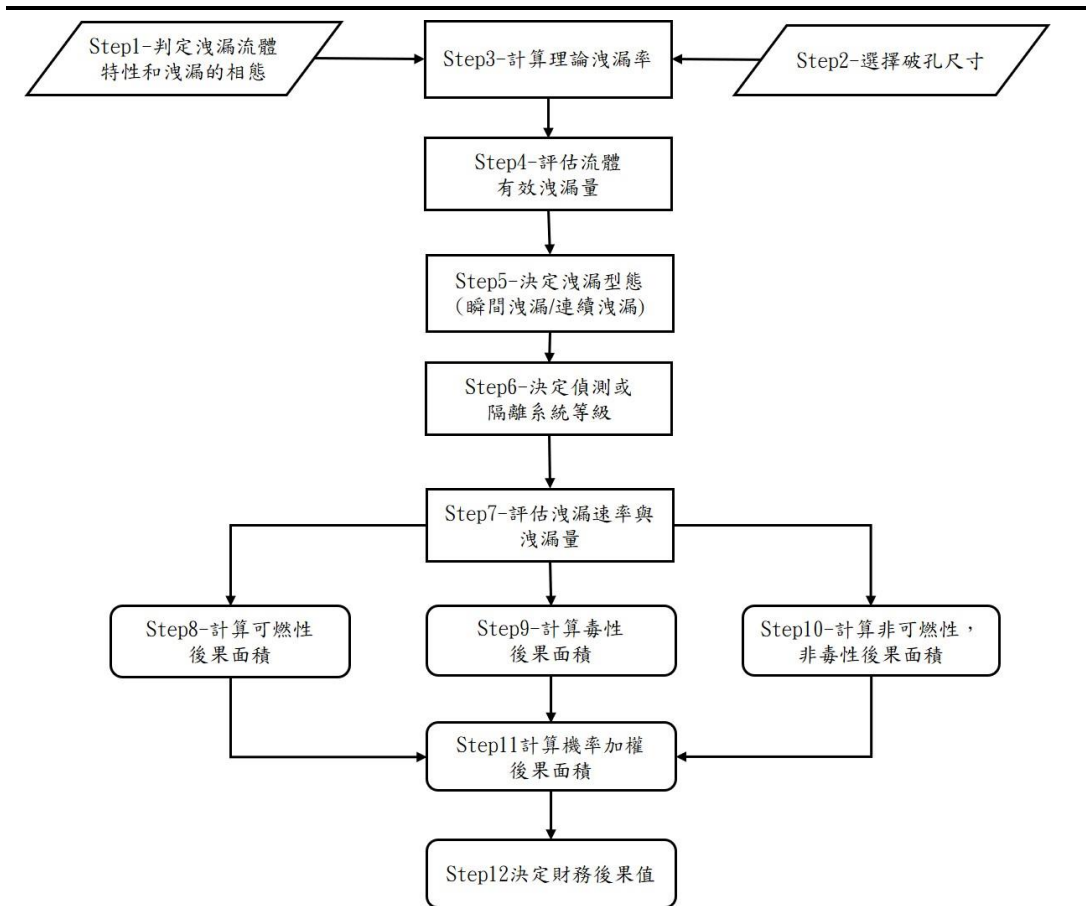
三、RBI 後果 Level 1 與 Level 2 概述

RBI 的後果分析始於洩漏。評估設備發生洩漏後的後果演進。後果類型需評估三種，分別為：火災爆炸相關後果、毒化物外洩後果，以及非毒非燃後果。除此之外，每種後果類型還需評估四種破孔尺寸。最終得出等效的影響性。各類後果在分析時，還需考慮化學品洩漏的相態，化學品的不同相態，有著不同的後果演進過程，可應用事件樹進行展開。

在 Level 1 則是採用簡化經驗式的方式估算等效的後果影響。而在 Level 2 對於前述後果又做細分。火災爆炸相關後果又分成：閃火、火球、噴射火焰、池火、蒸氣雲爆炸。而非毒非燃則分為三種：物理爆炸、液體沸騰膨脹蒸氣爆炸（Boiling Liquid Expanding Vapor Explosion, BLEVE）、酸鹼噴濺。所有後果需評估影響面積及財物損失。針對火災爆炸中的五種，又大分成火災及爆炸兩種。其中火球、噴射火焰、池火、閃火屬於火災類別，而蒸氣雲爆炸則屬於爆炸。火災是分析各後果所產生的熱輻射對周圍造成的影響，而爆炸是分析過壓造成的影響。其中，閃火則需應用氣雲擴散模式來估算可燃性氣體的氣團範圍，以得知閃火的影響面積。另外，對於毒性物質外洩後果，亦是需採用氣雲擴散模式來估算濃度達允收門檻下所圍成的面積。非毒非燃後果中的物理性爆炸與 BLEVE 亦是分析過壓影響性。酸鹼噴濺則是分析洩漏後的影響性。後果执行程序參照圖 3 所示。

在後果需評估影響面積與財物損失，如下述：

1. 影響面積：分析後果發生後的影響範圍。
2. 財物損失：評估洩漏後所造成財物損失，包含：生產停工損失、故障設備維修成本、人員傷亡損失、環境復育成本、周遭設備維修成本。



圖錯誤! 所指定的樣式的文字不存在文件中。、後果執行流程圖 (羅國禎, 2018; 賴品秀, 2016)

3.1 RBI 後果 Level 1 概述

後果計算相當繁瑣，故 RBI 中將後果分成兩等級。Level 1 後果分析以經驗式搭配圖表輔助，來減少計算的複雜性。惟此評估等級有相當限制，如下所列：

1. 正面表列危害流體的種類，且流體的物化特性，如：分子量、沸點、密度、比熱、自燃點等皆採平均值。正面表列流體種類的原則是含碳數相近或性質相似的化學品，歸類為同一群組。共分出了 33 種類代表性流體。如：將甲烷 (methane)、乙烷 (ethane)、LNG (液化天然氣) …等歸類於 C1-C2 群組。而丙烷 (propane)、丁烷 (butane)、

異丁烷 (isobutane)、LPG (液化石油氣) …等歸類於 C3-C4 群組。另外，汽油 (gasoline)、石腦油 (naptha)、輕直餾油 (light straight run)、庚烷 (heptane) …等歸類於 C6-C8 群組。並假設代表性流體的流體特性值為平均值 (例如：MW、NBP、密度、比熱與 AIT)。以 Level 1 等級進行後果分析時，需要注意評估之化學品，性質是否符合 RBI 於 Level 1 所做的假設。

2. 不考兩相態。冷卻驟沸液體、雨除、噴射液體或兩相態影響。
3. 特定後果類型不被評估。
4. 火災發生的點火機率，同其它洩漏事件機率 (如：蒸氣雲爆炸、池火、噴射火焰…等)。且已預先判定各相關流體的物化參數 (如：溫度、閃火點等)。以至於點火機率皆常數，與洩漏率無關。
5. 在 RBI 的評估方法中，附帶損害 (Collateral Damage)，即附屬品的損害，如：電器、儀表與儀控設備暴露於惡劣環境中的損害是不被考慮的。舉例來說，儀表暴露於氯氣洩漏情況，可能導致儀表系統的失常，造成更嚴重的後果。

四、RBI 後果 Level 2 概述

當 Level 1 後果評估分析不甚有效時 (如：化學品或操作條件特殊)，則應使用 Level 2 後果評估。Level 2 能夠解決前述章節提到 Level 1 諸多限制，且也能更準確地評估洩漏後果的嚴重程度。但相對 Level 2 評估相對 Level 1 複雜許多，不僅要考慮操作的條件，也需納入更多資料。甚至還需使用外部分析工具 (如：SLAB、DEGADIS 及 PHAST 等) 來輔助計算後果面積。

其中最關鍵也最難取得的資訊為化學品於操作條件下的物化資訊，如：閃火點、爆炸界限、定壓比熱、燃燒熱、密度、相態等。

五、比較 RBI 後果 Level 1 與 Level 2 之差異

以下從定性比較及案例分析兩方面，檢視差異對風險分析結果的影響性。

5.1 RBI 後果 Level 1 與 Level 2 之質性分析

RBI 中區分兩個後果等級，目的是考量實務上的分析可行性。包含所需資料的詳細度、分析所需時間、安全保守性等。

以下以異丙醇與丙酮兩化學品於化學性質差異為案例作說明。異丙醇與丙酮兩化學品從化學式上可發現，兩者皆應歸類於 C3-C4 的群組。但觀察沸點、常溫狀態與自燃點等數值，可發現於 C3-C4 中所列的沸點數值為 -21°C ，異丙醇與丙酮則分別為 82°C 與 56°C ；而常溫狀態時 C3-C4 代表性流體為氣態，異丙醇與丙酮則為液體；C3-C4 代表性流體的自燃點為 369°C ，丙酮則為 465°C 。從以上幾個物化性質可發現到，異丙醇與丙酮的化學品性質不符合 Level 1 代表性流體的假設情形。若是將其以 Level 1 等級進行後果分析，則可能會得到與實際情形不相符或是較保守的結果。顯然，上述兩化學品不適合以 Level 1 的分析程序進行後果分析。

下表為作者對 RBI Level 1 及 Level 2 兩方法進行質性比較之結果彙整。表中從化學品到後果分析程序，及分析所需資源等，以提供讀者參考。

表 1、後果等級比較表〔本研究彙整〕

比較因子	RBI Level 1	RBI Level 2
化學品	<ol style="list-style-type: none"> 考慮表列之化學品 以單一物質為主 僅能考慮直鏈結構。不適用支鏈多、存有非碳氫氧元素的化學品 	可評估所有化學品
操作條件	<ol style="list-style-type: none"> 正壓操作設備為主 溫度條件不限制 	<ol style="list-style-type: none"> 正壓操作設備為主 溫度條件不限制
相態	單一相態為主 液態、氣態	液態、氣態、雙相 相轉變
破孔尺寸	四種（小、中、大、全破）	四種（小、中、大、全破）

比較因子	RBI Level 1	RBI Level 2
後果類型	火災爆炸（考慮綜合的後果） 非毒非燃（物理爆炸、酸鹼噴濺）	1. 火災爆炸（閃火、蒸氣雲爆炸、噴射火焰、池火、火球） 2. 毒性物質外洩 3. 非毒非燃（物理爆炸、BLEVE、酸鹼噴濺）
火災爆炸之點火機率計算	直接假設洩漏後立即點燃	考慮洩漏量對應的點火機率
化學品物化性質	考慮常溫常壓下	可考慮實際操作條件
混合比	僅能考慮單一物質	可考慮混合物值比例
後果公式	保守參數下的經驗模型	基於理論及實驗的數學模型
計算時間	快	慢
分析所需資源	簡化成數個代表參數	相當多
保守程度	高	較接近實驗結果

5.2 案例研析：比較 RBI Level 1 及 Level 2 之後果保守性差異

針對一條 1 公里的碳鋼管線（25kg/cm²g @25oC），評估不同化學品下兩等級的差異。考量因子包含：化學品（6 種化學品）、管線尺寸（4 種規格）、破孔尺寸（4 種尺寸），共分析 240 種情境。下表為分析結果彙整表。表的第一行為參考化學品，第二行為代表性流體。第三行則為管線尺寸，其後的數值則為不同破孔尺寸下的後果面積。

本分析主要評估火災爆炸相關後果的後果面積。下表 2 為分析結果彙整表。

表 2、各類化學品於不同尺寸下的 Level 1 與 Level 2 後果面積結果彙整表

編號	化學品	代表座流體	計算結果(可燃後果面積m ²)											
			L1 計算						L2 計算					
			尺寸(mm)		小	中	大	全破	all	小	中	大	全破	all
1	乙烷	C1-C2	101.6(4吋)	2.6535	86.816	0	1064.4	147.88	42.861	104.72	0	184.82	95.353	
			152.4(6吋)	2.6535	131.64	1767.9	1767.9	236.94	15.999	136.5	334.56	315.8	120.22	
			203.2(8吋)	2.6535	131.64	1338.4	1338.4	200.46	36.466	370.59	1164.3	861.64	162.48	
			254(10吋)	2.6535	131.64	1303	1303	197.45	15.997	207.44	704.23	585.17	197.27	
2	丙烷	C3-C4	101.6(4吋)	4.5342	210.96	0	1917.1	301.95	42.013	114.04	0	185.84	101.31	
			152.4(6吋)	4.5342	182.67	1466.8	1466.8	245.24	16.36	143.69	347.28	310.38	124.56	
			203.2(8吋)	4.5342	182.67	1556.3	1556.3	253.82	16.36	174.83	597.29	436.03	166.14	
			254(10吋)	4.5342	182.67	1742	1742	268.58	16.36	209.89	790.8	574.28	204.4	
3	戊烷	C5	101.6(4吋)	102.42	645.88	0	320.17	476.13	40.531	53.77	0	170.5	60.227	
			152.4(6吋)	102.42	630.73	293.76	293.76	463.98	40.531	78.443	50.315	395.19	95.44	
			203.2(8吋)	102.42	659.91	344.67	344.67	487.38	40.531	104.36	72.431	778.19	98.8	
			254(10吋)	102.42	699.9	414.46	414.46	519.44	40.531	133.53	203.9	1387.8	138.41	
4	庚烷	C6-C8	101.6(4吋)	49.875	430.28	0	419.2	329.89	107.28	74.05	0	220.74	95.201	
			152.4(6吋)	49.875	409.26	512.43	512.43	324.07	107.28	79.327	50.609	416.35	115.27	
			203.2(8吋)	49.875	446.58	636.11	636.11	358.97	107.28	102.84	72.854	724.32	114.23	
			254(10吋)	49.875	497.63	779.22	779.22	404.50	107.28	54.29	154.78	1192.7	97.034	
5	柴油	C9-C12	101.6(4吋)	35.833	285.1	0	280.66	219.56	797.53	1256.8	241.66	150.12	1042.7	
			152.4(6吋)	35.833	276.34	266.57	266.57	212.63	797.53	1278.4	48.332	286.4	1068.4	
			203.2(8吋)	35.833	300.43	305.36	305.36	232.67	797.53	1301	69.576	470.18	1072.6	
			254(10吋)	35.833	332.66	357.27	357.27	257.15	797.53	1326.5	93.482	701.58	1095.3	
6	氫氣	H2	101.6(4吋)	0.7908	20.134	0	292.78	38.243	117.78	322.34	0	513.4	285.09	
			152.4(6吋)	0.7908	29.285	455.52	920.62	97.57	45.582	524.88	1833.8	1314.9	466.69	
			203.2(8吋)	0.7908	29.285	622.17	1554.5	90.49	45.582	668.31	2608.5	1863.9	655.76	
			254(10吋)	0.7908	29.285	808.88	2084	113.08	45.582	599.28	2237.3	1601	581.22	

從表中可發現到低碳化學品的後果面積為 Level 1 大於 Level 2。但高碳化學品則相反。除此之外，氫氣的後果面積則是 Level 1 顯著小於 Level 2。

5.3 分析建議

後果分析如果後果的嚴重性被低估，影響層面有以下所列：

1. 錯判設備的安全關鍵性，從而影響後續所有的規劃。
2. 低估檢查計畫的詳細程度。
3. 管理階層錯判風險的控制程度。
4. 企業同仁樂觀看待。
5. 造成企業資源投入的方向錯誤。

根據前述章節的分析結果，及對於設備管理的影像性，本文從實務角度出發，提出以下後果分析的建議：

1. 化學品的直鏈程度直接影響分析結果。若化學品屬於低碳且直鏈結構時，採用 Level 1 可快速得到結果，但相對分析結果是為高估安全的狀況。因此，如果風險等級過高，管理層認為不可接受時，可採用 Level 2 方式進行分析，以得知較真實的風險等級。另外，分析者宜於分析前提供待分析製程廠的化學品清單，以考量直鏈性從而擇定哪些設備適合使用 Level 2 的後果分析。另外，氫氣宜考慮採用 Level 2。
2. 若採用 Level 1 分析完後有發現，分析評估結果與製程危害分析結果不一致時，應檢視兩者的分析程序及、輸入資料是否有誤。若兩者皆是可信的，則可考慮採用 Level 2 分析。
3. 後果分析結果的準確性直接影響設備的風險等級及其日後檢查的工作量。因此，應採用合適的後果分析等級，從而得到正確的風險結果。

六、結論

風險基準檢查方法從設備破漏的風險規劃相應的檢查計畫，從而降低洩漏風險，是為相當良好的方法。當中後果分析若有保守，則可能會使後續所安排檢測規劃無法符合真實狀況。不僅如此，作者針對後果層面的實務應用議題卻相當稀少。有鑑於此，本文從質性比較及案例比對，討論兩方法的程序及結果上的差異及其影響性，並提出分析上的實務建議，以強化設備管理。

然而要採用採用 RBI 中後果 Level 2 分析，面臨的困難點在於所需資料非常多，尤其化學品的資訊。業者應於建置製程安全管理中的製程安全資訊時，一併彙整。另外，當廠內的化學品或製程條件變更時，應盡早更新 RBI 的結果，以確保所被安排的檢查計畫能夠切合於相應的腐蝕裂化機制。

參考文獻

- API RP 581 (2016). Risk-Based Inspection Methodology, 3rd. [online]
https://global.ihs.com/doc_detail.cfm?&item_s_key=00512451&item_key_date=790230&input_doc_number=API%20RP%20581&input_doc_title=
(Accessed 26 April 2024)
- ASME. (2008). ASME PCC-3-2007: Inspection Planning Using Risk-Based Methods. Printed in U.S.A.
- CCPS. (2016). Guidelines for Asset Integrity Management. Wiley-AIChE.
- CCPS. (2018). Dealing with Aging Process Facilities and Infrastructure. Wiley-AIChE.
- Crawl, D. A. and J. F. Louvar (1990). Chemical Process Safety: Fundamentals with Application. *New Jersey: Prentice* 5.20: 1
- IOGP. (2020). IOGP Safety performance indicators - Process safety events - 2020 data. [online] <https://www.iogp.org/bookstore/product/iogp-safety-performance-indicators-process-safety-events-2020-data/> (Accessed 26 April 2024)
- Palazzi, E., F. Currò, & B. Fabiano (2015). A critical approach to safety equipment and emergency time evaluation based on actual information from the Bhopal gas tragedy. *Process safety and environmental protection*, 97, 37-48.
- Saleh, J. H., R. A. Haga, F. M. Favarò & E. Bakolas (2014). Texas City refinery accident: Case study in breakdown of defense-in-depth and violation of the safety–diagnosability principle in design. *Engineering Failure Analysis*, 36, 121-133.
- Sklet, S. (2006). Safety barriers: Definition, classification, and performance.
-

Journal of loss prevention in the process industries, 19(5), 494-506.

WRC. (2014). Improvements in the Thinning Damage Factor Calculation Planned for the 3rd Edition of API RP 581.

陸彥儒、王振華 (2023)。談後果分析於風險基準檢查的技術問題。中華產業機械設備協會年刊。

賴品秀 (2016)。風險基準檢查於石化廠應用及參數影響性分析。國立高雄第一科技大學環境與安全衛生工程系碩士班碩士論文。

羅國禎 (2018)。應用 API 581 Level 2 指引於設備洩漏後果分析之研究。國立高雄第一科技大學環境與安全衛生工程系碩士班碩士論文。

鐳-223：攝護腺癌治療的新利器

Radium-223: The Emerging Therapeutic Innovation for Prostate Cancer Management

陳毓騏醫師

義大癌治療醫院¹ 泌尿科主任

聯絡作者：yuchichen1978@gmail.com

一、前言

攝護腺是男性特有的器官，也稱作前列腺，連接著膀胱排尿的出口，男性的尿道會穿過攝護腺，輸精管也在攝護腺中和尿道接合（圖 1）。攝護腺的功能跟生殖相關：主要是製造精液中的液體部分（精液中的精子則在睪丸生成），以及男性荷爾蒙（睪固酮）在攝護腺藉由 5 α 還原酶（5 α -Reductase）轉換成二氫睪固酮（也就是睪固酮的活性態）。男性賀爾蒙會刺激攝護腺發揮生殖相關的功能，同時也會造成攝護腺腺體逐漸變大，隨著年紀，通常四五十歲後，漸漸會壓迫尿道，導致排尿不通暢的情況，也就是『攝護腺肥大』所引發的『下尿路症狀』（lower urinary tract symptoms: LUTS）。攝護腺所引發的排尿症狀，在 70 歲的男性，盛行率可以高達 70%，可以說是所有年長男性的宿命。除了影響生活品質，還甚至造成需洗腎或放置導尿管的危害。因為這是一個緩慢漸進的症狀，不容易自我察覺，加上同年齡的生活圈都有類似情況，很容易解讀為老化的自然現象，忽略了對健康造成的危害。因此自我評估發現嚴重性更加重要。

¹ 高雄市燕巢區角宿里義大路 21 號 (07)6150022 #6053



圖 1、攝護腺是男性特有的器官，連接著膀胱排尿的出口，男性的尿道會穿過攝護腺，輸精管也在攝護腺中和尿道接合

二、自我檢測攝護腺及攝護腺癌

自我檢測攝護腺肥大症狀的主要工具為國際攝護腺症狀評分表（International Prostate Symptoms Score，簡稱 IPSS，表 1）；IPSS 評分表由美國泌尿科醫學會所發表，主要用於評估攝護腺肥大病人排尿的症狀嚴重程度。填完評量後把分數相加，即可得總分：0-7 分代表輕微症狀，8-19 分代表中等程度症狀，20-35 分代表嚴重症狀。

除了攝護腺肥大所引發的排尿症狀會影響男性健康，另一個更需要注意的就是攝護腺癌。當惡性腫瘤出現在攝護腺就稱為攝護腺癌，病理組織以腺癌（adenocarcinoma）最為多見。在美國是男性最常見的癌症，其發生與年齡相關，男性在 40 歲以後就有發生攝護腺癌的可能，發生率隨年齡逐漸增加。目前已知攝護腺癌的三個危險因子為高齡、種族和家族遺傳。但還沒有明確證據顯示有預防攝護腺癌的方法。國人發生率雖然不像歐美高，但近年來發生率急遽上升，台灣每年超過 4000 人新診斷為攝護腺癌。根據衛生福利部 110 年統計資料，攝護腺癌在十大癌症死亡率排名已經上升至第五名。

表 1、國際攝護腺症狀評分表

泌尿科問卷表-男

姓 名：
病歷號碼：

填表日期：

(請依您排尿狀況勾選分數)

排尿狀況評分表							
	從 來 沒 有	五 次 中 少 於 一 次	少 於 一 半 的 時 候	大 概 一 半 一 半	超 過 一 半 的 時 候 是	幾 乎 是	
1.膀胱不能將尿液完全排乾淨： 在過去一個月中，每當您小便排完的時候，是否經常感到膀胱裡的尿液並未完全排盡？	0	1	2	3	4	5	
2.排尿的次數： 在過去一個月中，每當您小便完，是否不到兩小時又想去小便？	0	1	2	3	4	5	
3.間歇尿症狀： 在過去一個月中，當您在小便的時候，是否經常發現小便斷斷續續，不能連貫？	0	1	2	3	4	5	
4.尿急的症狀： 在過去一個月中，在您尿急時，是否無法暫時憋尿，一定要馬上去廁所解尿？	0	1	2	3	4	5	
5.排尿無力的症狀： 在過去一個月中，您是否經常覺得排尿無力，尿流變細？	0	1	2	3	4	5	
6.逼尿的症狀： 在過去一個月中，您是否經常覺得在開始排尿時，必須肚子用力逼尿才能排出小便？	0	1	2	3	4	5	
7.夜尿症： 在過去一個月中，從您上床睡覺直到早上醒來時，您要起床解小便多少次？	沒有	一次	二次	三次	四次	五次或以上	
症狀評分的總評分=							
★您腹部用力時，腹股溝、陰囊或陰道會有東西鼓出來嗎？							
因泌尿系統疾病的症狀而影響了生活的品質							
	非常 歡 快	喜 悅 的	大 部 份 滿 意	苦 樂 參 半	大 部 份 不 滿 意	不 快 樂	非 常 悲 慘
★您對自己目前排尿情形的感受如何？	0	1	2	3	4	5	6

資料來源：台灣尿失禁防治協會（2010）

攝護腺癌早期通常沒有明顯症狀，大多和攝護腺肥大的排尿症狀差不多，包括排尿變慢、尿急、開始排尿時排不出來、尿完後滴尿、尿流中斷、排尿後殘留尿液感覺、夜尿、血尿等。當攝護腺癌侵犯儲精囊，會出現精液帶血或射精疼痛，部分病人癌症已擴散至別的器官時才發現。為了能提高治療效果及存活率，臨床上需要借助一些工具提高診斷的機率，目前醫界共識為 50 歲以上男性（若有家族病史應提早至 45 歲），應定期接受攝護腺檢查，經由早期的診斷能即時接受適當治療，常見的診斷工具如表 2：

表 2、攝護腺癌常見的診斷工具

肛門指診	醫師經由肛門伸入直腸去觸摸攝護腺是否有硬塊或結節。
血液檢查	抽血檢驗攝護腺特異抗原(PSA)，游離 PSA(free-PSA)，攝護腺健康指數 Prostate Health Index (PHI)。
攝護腺超音波	檢查攝護腺的體積及是否有異常回音，可以協助判斷是否有惡性的可能並作為切片的導引。
攝護腺切片檢查	經由直腸或會陰部，在超音波或磁振造影導引下，抽出一小部分攝護腺組織檢體病理檢查。
骨骼掃描、電腦斷層攝影或核磁共振攝影	偵測是否轉移至骨骼、骨盆腔淋巴結或其他器官。

三、轉移性攝護腺癌及治療方式

當攝護腺癌細胞發生遠端轉移至骨盆腔外淋巴結、臟器（例如肝臟、肺部）或是骨頭，就稱為轉移性攝護腺癌。西元 1941 年，美國醫師 Charles Brenton Huggins 教授發現雙側睪丸切除方式（男性賀爾蒙去勢，今日多以針劑藥物取代切除睪丸）的治療可以治療轉移性攝護腺癌，並於 1966 年獲得諾貝爾醫學獎後，自此成為轉移性攝護腺癌的標準治療方式。但是通常經過約 14-30 個月的治療後，即使血清中之睪固酮濃度仍保持男性賀爾蒙去勢標準(<50 ng/ml)，但疾病仍持續進展，這時轉移性攝護腺癌會逐漸無法再只以男性賀爾蒙去勢這

樣的手段來控制，病患的病程會進入下個階段：轉移性去勢抵抗性攝護腺癌（metastatic Castration-Resistant Prostate Cancer）。近 10 年因為藥物的研發大幅進步，除了原本的針劑荷爾蒙去勢治療之外，多了新型的口服抗荷爾蒙藥物、化療藥物、針對骨轉移的放射性同位素製劑治療 Radium（鐳）-223 Chloride、針對有特定基因變異病患的 Poly（ADP-ribose）polymerase（PARP）抑制劑治療以及針對 Prostate-specific membrane antigen（PSMA）陽性病患的 Lutetium-177（¹⁷⁷Lu）-PSMA-617 治療，皆可有效增加治療反應及延長生命。

其中 Radium（鐳）-223 Chloride（商品名：鐳治骨 Xofigo，拜耳公司）在 2013 年憑藉 ALSYMPCA 臨床試驗證實療效，獲得美國 FDA 核准使用於轉移性去勢抵抗性攝護腺癌的患者。ALSYMPCA（Alpharadin in Symptomatic Prostate Cancer）是一個比較 Radium-223 Chloride 與安慰劑的第三期的隨機、雙盲臨床試驗。總共 19 個國家，136 個醫學中心參與試驗。實驗設計以 2:1 的比例隨機分配 921 名有症狀的骨轉移且尚未有臟器轉移的轉移性去勢抗性攝護腺癌的患者，接受 6 次 Radium-223 Chloride 注射或安慰劑；每 4 週注射 1 次。主要療效指標為整體存活期（overall survival, OS），次要療效指標包括首次發生有症狀的骨骼事件（SSE）的時間和多項生化指標，以意圖治療分析法（intention-to-treat, ITT）進行分析。

最終分析顯示，與安慰劑相比，Radium-223 Chloride 顯著延長整體存活期中位數 3.6 個月（中位生存期為 14.9 個月 vs. 11.3 個月；hazard ratio, 0.70; 95% CI, 0.58 to 0.83; $P < 0.001$ ）。所有次要療效終點包括首次出現症狀性骨骼事件的時間也顯示，與安慰劑相比，Radium-223 Chloride 顯著延緩首次發生有症狀的骨骼事件約 5.8 個月，顯著延緩 total serum alkaline phosphatase（TALP）與 PSA 惡化時間，且比安慰劑組有顯著較高的 TALP 反應率與恢復正常比率。在生活品質方面，治療期間 Radium-223 Chloride 組比安慰劑組有較高比率感受到生活品質改善（25% vs. 16%， $p = 0.02$ ）。最常見之嚴重不良事件（發生率 > 5%）為疾病惡化、骨骼疼痛、貧血、脊椎壓迫。主要血液相關不良事件為貧血、血小板減少症、嗜中性白血球缺乏症。Radium-223 Chloride 組相對於安慰劑組較少發生治療相關不良事件，但胃腸疾病與血小板減少症發生率較高。

四、結論

因為攝護腺癌經常會發生骨骼轉移的現象，而且造成的骨骼轉移通常是多發性的，骨骼轉移可能產生疼痛、病理性骨折或脊椎受到壓迫而產生神經方面的症狀，大大影響生活品質。中央健康保險署於民國 108 年 3 月 1 日起核准 Ra(鐳)-223 Chloride 納入健保給付範圍，限用於治療去勢抗性攝護腺癌病患，其合併有症狀的骨轉移且尚未有臟器轉移者，為該類治療患者的另一項新福音。

Radium-223 Chloride 屬於放射性同位素製劑治療，經由靜脈注入人體，其新陳代謝與鈣離子相同，會進入骨骼組織，特別是骨骼增生特別旺盛的地方（癌症轉移至骨骼之後會造成骨骼的破壞進而促進骨骼增生的活性）。由於 Radium-223 大部分經由 α 衰變， α 粒子穿透組織的深度大約只有三至四個人體細胞，但能量足以破壞癌細胞的 DNA 致使癌細胞死亡。也由於穿透組織深度較淺，所以影響正常細胞及組織較小，也比較不會影響到骨骼造成造血功能受損。患者在接受治療之後，大部分會緩解攝護腺癌骨骼轉移部位的疼痛，延緩發生病理性骨折的時間。大多數的病人在接受過此類治療之後能改善生活品質，而且副作用比起其他藥物治療較少，雖然有一些患者在接受此類治療之後會有暫時性的血小板及白血球降低的現象。Radium-223 的半衰期為 11.43 天，經過一系列的衰變之後成為一種穩定的同位素 Rb（鉍）-207。Radium-223 Chloride 在體內的新陳代謝之後 95% 會由糞便排出，5% 會由尿液排出。患者一共要接受 6 次的治療，每次間隔一個月，此藥係經由靜脈緩慢注射，患者注射之後如果沒有什麼不舒服，經過稍事休息之後即可自行離去，不需住院也不需做任何輻射防護措施，治療期間共同生活的家人也不會有輻射線暴露的疑慮。

至今國內外許多研究結果都顯示使用 Radium-223 Chloride 藥物可以有效控制骨頭轉移病灶，進而延長病患存活率及改善生活品質，加上目前已經納入健保給付範圍，對於去勢抗性攝護腺癌骨轉移的病患是治療上的另一新利器。

參考文獻

- NCCN. (2023). NCCN Clinical Practice Guidelines in Oncology (NCCN Guidelines®) Version 4.
- Hoskin, P., Sartor O., O'Sullivan JM., et al. (2014). Efficacy and safety of radium-223 dichloride in patients with castration-resistant prostate cancer and symptomatic bone metastases, with or without previous docetaxel use: a prespecified subgroup analysis from the randomised, double-blind, phase 3 ALSYMPCA trial. *Lancet Oncol*, 15, 1397-1406.
- Nilsson, S., Cisko P., Sartor O., et al. (2016). Patient-reported quality-of-life analysis of radium-223 dichloride from the phase III ALSYMPCA study. *Ann Oncol*, 27, 868-874.
- Parker, C., Nilsson S., Heinrich D., et al. (2013). Alpha emitter radium-223 and survival in metastatic prostate cancer. *N Engl J Med*, 369, 213-223.
- 台灣尿失禁防治協會 (2010)。攝護腺問卷。取自
http://www.tcs.org.tw/tcs_old/ci/ci_info.asp?Page=1&titleid=42。讀取日期：2024年2月23日。

淺談環境塑膠微粒對心血管健康的影響

A Brief Discussion of The Impacts of Environmental Microplastics on Cardiovascular Health

吳佳鎮醫師

高雄長庚醫院¹ 胸腔及心臟血管外科主治醫師

聯絡作者：maxwu02@gmail.com

一、前言

塑膠製品是現今生活不可缺少而廣泛存在使用的材料。包括 PE、PP、聚乙烯醇、聚酯、聚醯胺 (PA)、聚四氟乙烯。塑膠產品在許多部門 (世衛組織, 2019) 都很普遍, 例如包裝、建築、汽車、電子、農業和家居用品, 導致不可避免的環境和人類接觸。目前估計全球塑膠年產量超過 3.2 億噸, 其中 40% 以上被用作一次性包裝, 而形成塑膠廢棄物。每年生產的塑膠中有很一部分進入海洋環境並持續存在, 預計到 2025 年將累積總量達到 2.5 億噸。這些暴露在紫外線 (UV) 輻射下的塑膠會因為光氧化的催化, 使其變脆, 產生塑膠碎片而形成關鍵的環境問題。結合風、波浪作用和磨損, 將使塑膠碎片降解為微顆粒 (<5mm) 甚至是奈米顆粒 (<1000nm), 分別稱為微塑膠 (microplastics) 和奈米塑膠 (nanoplastics)。

微塑膠除了上述的來源之外, 也被專門製造用於各種應用, 如個人護理產品中的去角質劑 (微珠)。這種材料與機洗衣服產生的塑膠超細纖維一起, 直接釋放到城市廢水中。根據報導, 儘管一個廢水處理廠 (wastewater treatment plant, WWTP) 能夠將廢水中的微塑膠濃度降低了 98%, 估計每天仍有 6500 萬個微塑膠被釋放到環境水中。在美國, 據保守估計, 每天多達 8 萬億個微珠透過汙水處理廠進入水生棲息地, 這是一個不可忽視的微塑膠來源。微塑膠無處不在, 從兩極到赤道的水生棲息地, 甚至是北極海冰的冰芯中也發現過。

¹ 高雄市鳥松區大埤路 123 號 (07)7317123 #8008

奈米塑膠也越來越多地被刻意的製造。例如油漆、粘合劑、藥物輸送工具和電子產品皆是可能含有奈米塑膠的產品。舉例來說，3D 列印即會發散聚合物奈米顆粒。

此外生物可分解的聚合物（聚乳酸-甘醇酸 PLGA）也逐漸增加使用，被視為是塑膠產品的替代品。因為它的高生物相容性，PLGA 目前廣泛應用在醫療中。然而 PLGA 亦會形成 PLGA nanoparticles（PLGA NPs）。

由於其疏水表面，微塑膠可以高度吸附和濃縮疏水性有機污染物(HOCs)，如多環芳烴（PAHs）、有機氯殺蟲劑和多氯聯苯（PCBs）。它們還積累了鎘、鋅、鎳和鉛等重金屬。因此，微塑膠被視為這些污染物的一種載體。微塑膠也可能含有內源性化學添加劑，因為它們在塑膠製品製造過程中被摻入。由於這些添加劑在化學上不與塑膠聚合物基質結合，使它們容易浸出到外部介質中。

二、微塑膠進入人體的途徑

由於微塑膠和奈米塑膠（micro- or nano-plastics, MNPs）在環境中無處不在，因此接觸微塑膠和奈米塑膠是不可避免的。MNPs 進入人體的途徑主要為（1）表皮接觸，（2）經口攝入，（3）呼吸道。經口攝入的來源之一為海鮮，鑑於微塑膠在海洋環境中的流行，人類接觸的預期途徑是透過海鮮，海鮮構成了必不可少的膳食成分。海鮮為全球近 30 億人提供了約 20% 的動物蛋白質攝入量。魚類攝入微塑膠的情況已被廣泛報導，包括商業物種，儘管攝入的微塑膠數量很少。如果微塑膠能夠透過魚類腸胃道或鰓轉移並進入循環系統，則可以經過食用魚類而攝入微塑膠。但目前飲食接觸微塑膠的最重要來源可能是透過雙殼軟體動物（貝類），貝類動物透過將大量水泵入殼內的鰓腔來進食，從鰓殼上保留懸浮液中的顆粒以供後續攝入。因此，它們透過水直接接觸微塑膠。除了海鮮，蜂蜜和糖中也曾被報告存在合成超細纖維（長度至少為 40 微米）和碎片（大部分為 10-20 微米）。此外，啤酒及海鹽中也存在微塑膠。顯然，微塑膠目前污染了許多供人類消費的食物，其影響尚不清楚。其他食物中存在的微塑膠也表明它們會污染大氣環境。

一定規模的 MNPs 可以穿透腸道上皮（ $\leq 150\mu\text{m}$ ）、血管（ $\leq 10\mu\text{m}$ ）和肺

血屏障（大於 400 奈米不能）。較小的 NP（例如 40 奈米）可以被 Langerhans 細胞等巨噬細胞吸收，而較大的 MP（例如，6.8 微米）可能會導致心臟周圍毛細血管的機械堵塞。沒有證據表明 MNPs 可以透過皮下屏障進入循環系統。在人類糞便、肺部和胎盤中都曾檢測到微塑膠，然而關於完全封閉的人體器官中微塑膠暴露的關鍵資料仍然缺乏。總的來說，MNPs 可以穿透腸道上皮或肺血屏障，透過門靜脈進入血液，在血液中重新分布，然後在心臟周圍積累。有研究發現從 15 名心臟手術患者身上採集了微塑膠標本，包括 6 個心包膜、6 個心外膜脂肪組織、11 個心包膜脂肪組織、3 個心肌、5 個左心耳和 7 組術前和術後靜脈血液樣本。微塑膠並非在所有組織樣本中普遍存在，但在五種組織中發現了九種類別，最大的直徑為 469 微米。在術前和術後採取的血液樣本中發現最大直徑為 184 微米的九種類型的微塑膠。在這些檢體中，左心耳、心外膜脂肪組織和心包膜脂肪組織中存在微塑膠不能歸咎於手術期間的意外暴露，間接證實微塑膠存在於封閉的人體器官中。眾多證據表明人類可能接觸微塑膠及其相關污染物，評估它們對人類健康構成的風險很重要。

三、潛在的毒理學機轉

塑膠被認為是一種惰性材料，然而，微塑膠對人體仍會造成傷害，例如長期口服後，聚氯乙稀顆粒的沉積會導致實驗動物的小血管堵塞。大小、形狀、溶解度和表面電荷都會影響顆粒對體內細胞和組織的細胞毒性。關於物理影響，微塑膠的生物持久性（biopersistence）可能導致一系列生物反應，包括發炎反應（inflammation）、遺傳毒性（genotoxicity）、氧化壓力（oxidative stress）、細胞凋亡（apoptosis）、細胞焦亡（pyroptosis）和組織壞死（necrosis）。如果這些情況持續下去，可能會產生一系列結果，包括組織損傷、纖維化和致癌。由於聚合物本身的成分；未結合的化學品和未反應的殘留單體的浸出，或相關疏水性有機污染物（HOC）的解吸付，也可能會產生化學效應。

越來越多的研究促進了我們對 MNPs 的潛在毒性的理解，但在 MNPs 對人體心血管系統的不利影響方面仍然存在知識差距。Xiaoqi Zhu 分析了過去 10 年釋出的關於 MNPs 相關的心血管毒性和機制的資料並分析總結了 46 篇關於 MNPs 吸收、分布和聚集行為以及 MNPs 在動物和人類心血管系統中的毒性的

文章。結果表明，MNPs 影響心臟功能，並對微血管部位造成毒性。MNPs 的直接心臟毒性包括誘發心率異常、心臟功能損害、心包膜水腫和心肌纖維化。在微血管部位，MNPs 誘導溶血、血栓形成、血液凝固和血管內皮損傷。主要機制如前述包括氧化壓力、發炎反應、細胞凋亡以及 MNPs 和多個細胞結構體之間的相互作用。心血管毒性由 MNPs 的性質（型別、大小、表面和結構）、暴露劑量和持續時間、蛋白質存在、生命階段、性別和物種以及與其他環境污染的相互作用來確定。以大小而言，大於 0.5 毫米的 MNP 不太可能透過腸道上皮，大於 400 奈米的 MNP 無法穿透肺血屏障。

此外有研究 PLGA NPs 對血管狹窄病理變化，將老鼠靜脈內注射 PLGA NPs 兩周後發現頸動脈產生重度狹窄，動脈內膜厚度增加。PLGA NPs 誘導發炎反應並且加速狹窄的發生而減少血管功能，PLGA NPs 會堆積在狹窄地區並且誘發發炎物質的分泌，並且促進平滑肌細胞的增生跟異常的膠原蛋白分布，因而造成血管壁剪力增加。PLGA NPs 的攝入加速了血管內皮細胞的傷害，導致內皮細胞滲漏。

在環境當中，MNPs 不是獨立存在的，而是與其他污染物（如殺真菌劑、金屬離子和持久性有機污染物）在自然環境中混合存在，因此可能導致聯合毒性。

大多數現有的關於 MNPs 的毒性研究都需要水傳播和口服接觸，而經由吸入接觸造成的心血管毒性研究仍然有限。自新冠肺炎爆發以來，全球一次性口罩消費量的增加也導致 MNPs 廢棄物的增加，給環境帶來了新的挑戰。從口罩中吸入 MNPs 和空氣中塑膠污染可能對人類健康構成不可忽略的威脅。

四、結論

雖然目前的資料有限，但現有的研究都表明了 MNPs 對心血管系統的潛在危害。MNPs 驅動的心血管毒性的主要機制是氧化壓力、發炎反應、細胞焦亡以及 MNPs 與細胞結構之間的相互作用。因此，未來需要系統地評估 MNPs 是否以及如何成為人類心血管毒性和心血管疾病的新環境和健康風險因素。此外在使用生物可分解的聚合物材料時，尚須特別關注他們對心血管疾病的影響，這部分需要更多而且更深入仔細的研究。

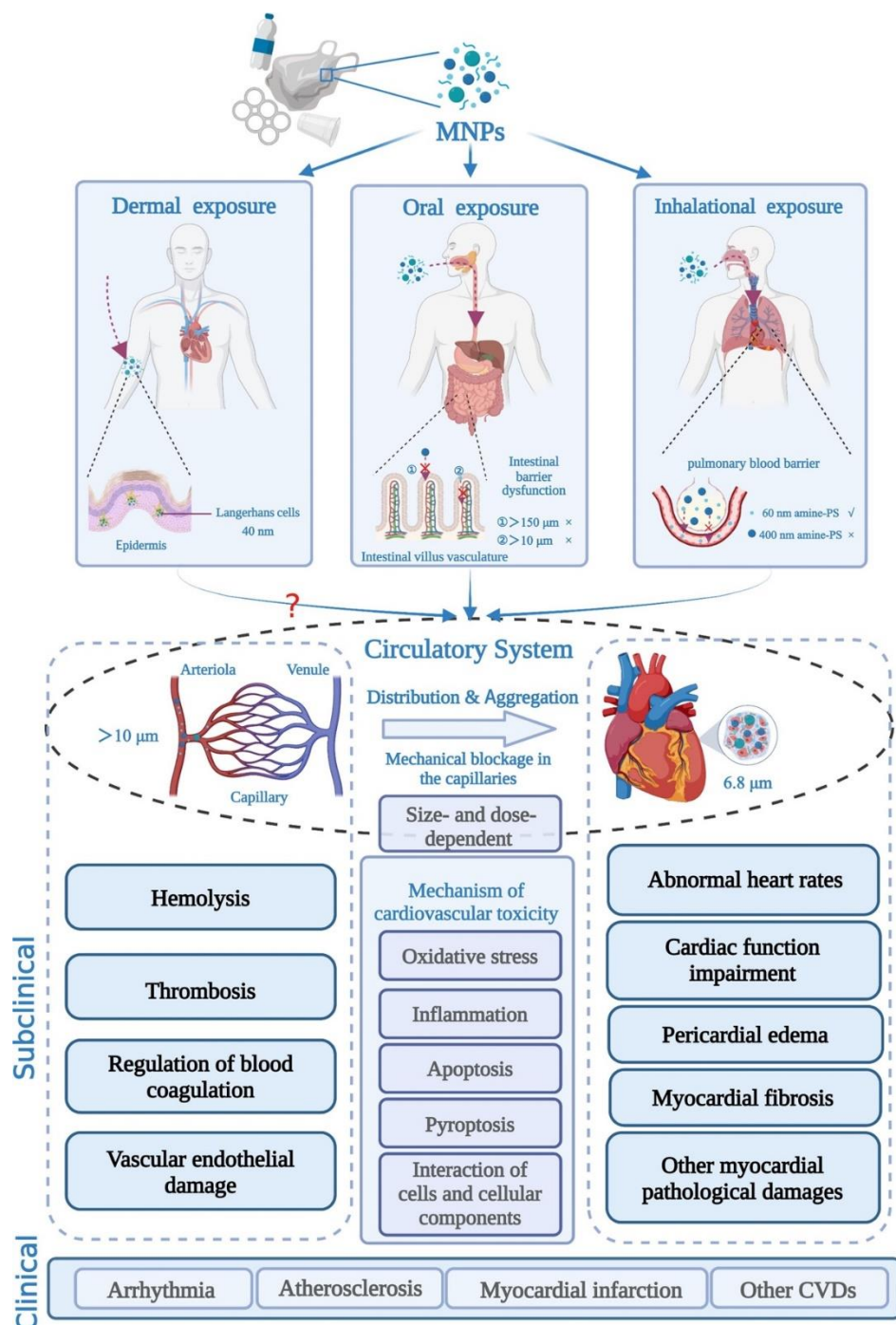


圖 1、MNP 對心血管系統的暴露途徑、毒理學、亞臨床和臨床影響

(Zhu et. Al., 2023)

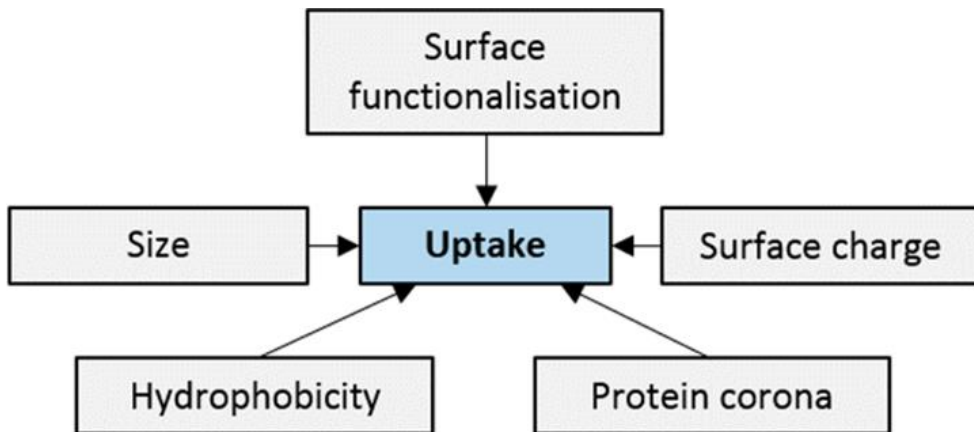


圖 2、影響微塑膠和奈米塑膠吸收的粒子特性 (Wright and Kelly, 2017)

參考文獻

- Shi, W., A. R. M. Fuad, Y. Li, et al. (2023). Biodegradable polymeric nanoparticles increase risk of cardiovascular disease by inducing endothelium dysfunction and inflammation. *J Nanobiotechnol*, 21, 65.
- Wright, Stephanie L. and Frank J. Kelly (2017). Plastic and Human Health: A Micro Issue? *Environ. Sci. Technol*, Vol. 51(12), 6634-6647.
- Yang, Yunxiao, Enzehua Xie and Zhiyong Du (2023). Detection of various microplastics in patients undergoing cardiac surgery. *Environ. Sci. Technol*, Vol. 57(30), 10911-10918.
- Zhu, Xiaoqi, Chuanxuan Wang, Xiaoyu Duan, Boxuan Liang, Elvis Genbo Xu, Zhenlie Huang (2023). Micro- and nanoplastics: A new cardiovascular risk factor? *Environment International*, 171, 107662.

中華環安衛科技協會 第十四屆第三次理監事聯席會 會議紀錄

- 一、時間：中華民國 112 年 12 月 19 日(星期二)14:10。
- 二、地點：漢來大飯店(巨蛋)9F 金銀廳 (813 高雄市左營區博愛二路 767 號)
- 三、出席人員姓名
理事：吳忠信、陳俊銘、陳俊六、黃建元、陳永川、林淵淙、林登峰、方煥銘、連興隆、許逸群、陳秋姣、施瑞卿
監事：孫榮宏、王茂松、康敏捷、董正欽、郭俊賢
- 四、缺席人員姓名：(無)
- 五、請假人員姓名
理事：林瑞和、吳裕文、吳孟宗、陳信榮、薩支高、林信一、林宗曾、林健榮、王振華、郭俊彥、張益國、徐明才、陳奇男
監事：孫武正、楊志明
- 六、列席人員：無
- 七、主席：吳忠理事長 紀錄：黃嫻薰
- 八、主席致詞：(略)
- 九、報告事項：
(一)本會於 12 月發行第 54 期會刊，預計 113 年 6 月會發行第 55 期會刊。
(二)第 54 期會刊收錄了總共 6 篇文章，涵蓋環境、安全和健康三個類別，其中環境類有 2 篇，分別是〈「氣候變遷因應法」與歐盟「碳邊境調整機制」應用減碳市場工具的分析〉和〈環境監檢測之最適化品質保證方案〉；安全類有 2 篇，分別是〈從預防重大事故危害角度談承壓設備完整性操作視窗重要性〉和〈石化產業建立製程安全管理績效指標作為風險溝通之基礎〉；健康類有 2 篇，包括〈110 公斤的身軀面臨「植物性飲食」的衝擊〉和〈小心！不要成為醫美白老鼠〉。感謝各位作者慷慨分享重要的研究成果，豐富了本期會刊，為協會會員提供了寶貴的知識和資訊。
(三)本會於今(112 年 12 月 19 日)下午假漢來大飯店(巨蛋館)舉辦會員大會，邀請理、監事、顧問及全體會員參與，演講主題及講授人如下：
1、邀請高雄大學土木與環境工程學系連興隆特聘教授，演講主題為【氣候變遷因應法：環安衛產業的機會與挑戰】。
2、邀請台塑企業總管理處安衛環中心黃溢銓副總經理，演講主題為【台塑企業的永續發展之路】

十、討論提案

提案一

案由：審議 112 年度 11 月底前收支決算表。

說明：有關 112 年 11 月底前收支決算表，請參閱附件 1。

決議：照案通過。

提案二

案由：審議 113 年度收支預算表、工作人員待遇表。

說明：有關 113 年收支預算表，請參閱附件 2。

決議：照案通過。

提案三

案由：審查新進會員及團體會員改派會員之資格。

說明：檢附本次新進個人會員、團體會員之資料如下，提請審議。

決議：照案通過。

新進個人會員

類別	編號	姓名	現職	推薦會員
常年會員	P244	王明煌	國立高雄科技大學 助理研究員	陳秋蚊
永久會員	P245	陳日恒	國立高雄科技大學 化材系助理教授	吳忠信/潘俊仁
常年會員	P246	洪崇智	惠民實業股份有限公司 經理	吳忠信/李明祥
常年會員	P247	張丁皇	長春人造樹脂股份有限公司資深工程師	吳忠信/李明祥
常年會員	P248	黃雅婷	洸洸科技 工程師	吳忠信/李明祥
常年會員	P249	許哲榮	國立高雄科技大學 海洋環境工程系助理教授	吳忠信/陳秋蚊

新進團體會員

類別	編號	團體名稱	會員代表 1	會員代表 2	會員代表 3
常年會員	A052	亞東預拌混凝土股份有限公司	金崇仁	吳佳憲	蘇遠志
常年會員	B027	承晏環境科技股份有限公司	賴文彬		

團體會員-改派代表

編號	團體名稱	原會員代表	改派會員代表
A023	中國鋼鐵股份有限公司	吳孟宗	黃建誠處長

十一、臨時動議：(無)

十二、散會：14 時 30 分。

附件1

中華環安衛科技協會
收支決算表
112年1月1日至112年11月30日

單位：元

科目	1~11月實際 結算數	1~12月 預算數	實際與預算 比較	實際結算數說明
本會經費收入				
入會費	36,000	35,000	1,000	入會費
常年會費	498,990	395,000	103,990	會員繳常年會費
會員捐款	106,970		106,970	
補助收入				
政府補助收入				
其他補助收入				
會員服務收入	200,000	200,000	0	會刊廣告刊登收入
專案計畫收入				
業務活動收入	250,000	250,000	0	112/6/2產業博覽會
利息收入	23,319	12,000	11,319	銀行存款利息
收入合計	1,115,279	892,000	223,279	
本會經費支出				
(一)人事費				
兼職人員車馬費				
其他人事費	110,360	120,720	(10,360)	人力支援(每月\$10,060)
小計	110,360	120,720	(10,360)	
(二)辦公費				
文具用品				
印刷費	5,280	10,000	(4,720)	會員手冊、通知單影印
出差費				
郵電費	3,978	5,000	(1,022)	郵資for開會通知、手冊..及匯費
稅捐				
其他辦公費				
小計	9,258	15,000	(5,742)	
(三)業務費				
會議費		30,000	(30,000)	演講費、場地租賃
聯誼活動費	147,853	130,000	17,853	辦理活動費
業務推廣費		15,750	(15,750)	網站虛擬主機
考察觀摩費				
會刊(訊)編印費	65,355	75,000	(9,645)	會刊編印、稿費
其他業務費	219,218	215,158	4,060	112/6/2產業博覽會
捐助費				
小計	432,426	465,908	(33,482)	
支出合計	552,044	601,628	(49,584)	
提撥基金				
本期餘絀	563,235	290,372	272,863	

理事長：



秘書長：



執行秘書



財務秘書：




中華環安衛科技協會
銀行存款及現金出納表
民國112年1月1日至民國112年11月30日

科 目	金 額
上期結存	1,917,198
加：本期收入	1,115,279
減：本期支出	(552,044)
期末結存	2,480,433

理事長：


秘書長：


執行秘書：


財務：


中華環安衛科技協會
基金收支表
民國112年1月1日至民國112年11月30日

收 入			支 出		
科	目	額	科	目	額
準備基金			準備基金		
歷年累存		377,958	支付退職金		0
本年度利息收入		986	轉撥經常帳戶		0
本年度提撥		0	結餘		378,944

理事長：

秘書長：

執行秘書：

財務：

中華環安衛科技協會
資產負債表
民國112年11月30日


單位：元

資 產		負債、基金暨餘絀	
科 目	金 額	科 目	金 額
流動資產		流動負債	0
銀行存款--土銀活存	231,297		
銀行存款--兆豐活存	370,192	基 金	
銀行存款--土銀定存	1,500,000	資產基金	378,944
銀行存款--玉山活存(基金帳戶)	378,944	累計餘絀	1,533,254
		本期餘絀(112年1-11月)	568,235
合 計	2,480,433	合 計	2,480,433

理事長：

秘書長：

執行秘書：

財務：

附件2

中華環安衛科技協會
收支預算表
113年度

單位：元

科目	113預算數	112預算數	說明
本會經費收入			
入會費		35,000	
常年會費	400,000	395,000	會員繳常年會費
會員捐款			
補助收入			
政府補助收入			
其他補助收入			
會員服務收入		200,000	112年度會刊廣告刊登收入
專案計畫收入			
業務活動收入		250,000	
利息收入	12,000	12,000	銀行存款利息
收入合計	412,000	892,000	
本會經費支出			
(一)人事費			
兼職人員車馬費			
其他人事費	120,720	120,720	人力支援(每月\$10,060)
小計	120,720	120,720	
(二)辦公費			
文具用品			
印刷費	10,000	10,000	會員手冊、通知單影印
出差費			
郵電費	5,000	5,000	郵資for開會通知、手冊..及匯費
稅捐			
其他辦公費			
小計	15,000	15,000	
(三)業務費			
會議費	30,000	30,000	演講費、場地租賃
聯誼活動費	130,000	130,000	辦理活動費
業務推廣費	15,750	15,750	網站虛擬主機
考察觀摩費			
會刊(訊)編印費	76,000	75,000	會刊編印、稿費
其他業務費		215,158	
捐助費			
小計	251,750	465,908	
支出合計	387,470	601,628	
提撥基金			
本期餘絀	24,530	290,372	

理事長：



秘書長：



執行秘書：




財務秘書：



中華環安衛科技協會
工作人員待遇表


單位：元

職稱	姓名	性別	到職年月日	月支薪餉	其他	說明
執行秘書	黃嫻薰	女	111.12.14	5,000	0	
財務秘書	陳誼喬	女	111.12.14	5,000	0	

理事長：

秘書長：

執行秘書：

財務秘書：

會員資格與權利義務

會員種類	加入資格	權利及義務	入會費 常年會費
個人	凡贊同本會宗旨，年滿二十歲者，經會員(會員代表)二人(含)以上推薦填具入會申請書，經理事會通過並繳納入會費後，為個人會員	權利：參加會員大會及各種活動的權利，有發言權、表決權、選舉權、被選舉權與罷免權 義務：繳納會費及遵守本會章程與決議事項	入會費 500 元 常年會費 1000 元/年
團體-A 類	凡公私機構或團體贊同本會宗旨，填具入會申請書，經理事會通過並繳納入會費，為團體會員。 A 類：資本額在六千萬元以上(含)的企業團體 B 類：資本額在六千萬元以下的企業團體 C 類：非營利事業之公私機構，社會法人團體等	權利：A 類會員得推派會員代表 3 人，B、C 類會員得推派代表 2 人，以行使比照個人會員享有之同等權利 義務：繳納會費及遵守本會章程決議事項	入會費 3000 元 常年會費 6000 元/年
團體-B 類			入會費 3000 元 常年會費 4000 元/年
團體-C 類			入會費 2000 元 常年會費 4000 元/年
贊助	凡贊同本會宗旨，對本會提供人力、物力贊助者，得經理事會通過為贊助會員	可享有參加會員大會及各種活動的權利，有發言權但無表決權、選舉權、被選舉權與罷免權	無

本協會對會員所提供的服務

一、免費贈閱會刊：

會刊每半年發行一期，內容涵蓋科技新知及產業訊息等，會員可藉以提升在環保及工業安全衛生的技術及競爭優勢。

二、免費參加各項活動：

本協會不定期舉辦環安衛相關議題的座談會及研討會，邀請各界專家學者演講及交流；另亦安排觀摩活動，參觀優良產、官、學、研單位，相互吸收經驗。

三、專屬網站：

本協會專屬網站 <http://www.cesha.org.tw/>，會員可藉此瀏覽本會最新訊息及相關資訊。

四、入會申請表

團體及個人會員申請表，放置於本協會專屬網站上，加入會員請於本會網站下載。



廣告刊登費用明細

位 置	規 格	印 刷	單 期 價 格
封 面	全 頁	彩 色	30,000 元
封 底	全 頁	彩 色	24,000 元
封面裡頁	全 頁	彩 色	20,000 元
封底裡頁	全 頁	彩 色	19,000 元
內 頁	全 頁	彩 色	12,000 元
內 頁	半 頁	彩 色	8,000 元
內 頁	全 頁	黑 白	8,000 元
內 頁	半 頁	黑 白	5,000 元

附註：

1. 如須本刊代為打字完稿，酌收打字完稿費每頁 500 元整。
2. 廣告折扣：
 連續刊登二期者：95 折
 連續刊登三期者：9 折
 連續刊登四期者：85 折
3. 會員優惠：「現有會員」以刊登版面單期價 9 折計價。