



電子報第 191 期

產業新聞

◆ 亞果生醫 毛髮增生技術 奪經濟部智財專利

資料來源：

https://tw.news.yahoo.com/%E4%BA%9E%E6%9E%9C%E7%94%9F%E9%86%AB-%E6%AF%9B%E9%AB%AE%E5%A2%9E%E7%94%9F%E6%8A%80%E8%A1%93-%E5%A5%AA%E7%B6%93%E9%83%A8%E6%99%BA%E8%B2%A1%E5%B0%88%E5%88%A9-201000858.html?guccounter=1&guce_referrer=aHR0cHM6Ly93d3cuZ29vZ2xlLmNvbS8&guce_referrer_sig=AQAAALIKLjoBiclWibgYs75ZHBix8BT3azpjeqweVu c0o4QWjnMMhfjkLPWutaczgUVpDyN4m-GbF_wxBIRWjPMIPitQ-z42oBB9iHqVzRPUoQm3w-UejgLQyUTyyxpB5kMwQeGmyAQwH19irHDNYPP7EerWp0i-S2h57p9RAKMOZELn

◆ 亞果生醫 進軍傷口照護市場

資料來源：<https://www.chinatimes.com/newspapers/20230223000390-260210?chdtv>

Supergreen 2022 優良論文

◆ OP-1-3

Excess molar enthalpies of the binary system carbon dioxide + ethyl lactate at 298.15 and 303.15 K and 5.0 – 7.0 MPa

Hiroyuki Matsuda^{*}, Tomoya Fukui, Kaito Kashioka, Yoshikatsu Furukawa, Kazuyuki Takizawa, Tatsuki Fujita, Kiyofumi Kurihara, Katsumi Tochigi (Nihon University)

◆ PP-03

Prediction of drug solubility in supercritical carbon dioxide by PC-SAFT EOS

Chen-Chen Wu, Yi-Ru Chen, Chieh-Ming Hsieh^{*} (National Central University)

技術專欄

- ◆ 超臨界 CO₂ 應用於二氧化碳礦化封存

團體會員介紹

- ◆ 聯華氣體工業股份有限公司

教育訓練班

- ◆ (夜間班)高壓氣體特定設備操作人員安全衛生教育訓練班 3/01~3/12



- ◆ (日間班)高壓氣體特定設備操作人員安全衛生教育訓練班 3/06~03/10

技術文摘

- ◆ An extraction-based facile method for measuring the solubility of organic solid compounds in **supercritical** carbon dioxide 一種基於萃取的簡便方法，用於測量有機固體化合物在超臨界二氧化碳中的溶解度
- ◆ Design and Operability Challenges for **Supercritical** CO₂ Plants: The sCO₂-Flex Centrifugal Compressor Test Experience 超臨界 CO₂ 工廠的 設計和可操作性挑戰：sCO₂ -Flex 離心壓縮機測試經驗
- ◆ Isobaric Heat Capacity and Density of **Supercritical** H₂O/CO₂ Mixtures: Measurements in a Multifunction Apparatus 超臨界 H₂O/CO₂ 混合物的等壓熱容和密度：多功能儀器中的測量
- ◆ Reactor for biomass conversion and waste treatment in **supercritical** water: A review 用於超臨界水中生物質轉化和廢物處理的反應器：綜述
- ◆ Techno-Economic Comparison of **Supercritical** CO₂, Steam, and Organic Rankine Cycles for Waste Heat Recovery Applications 用於餘熱回收應用的超臨界 CO₂、蒸汽和有機朗肯循環的技術經濟比較
- ◆ **Transient Analysis of a Supercritical Carbon Dioxide Air Cooler Using IDAES** 使用 IDAES 對超臨界二氧化碳空氣冷卻器進行瞬態分析

台灣超臨界流體協會

電話：(07)355-5706

E-mail：tscfa@mail.mirdc.org.tw



亞果生醫 毛髮增生技術 奪經濟部智財專利

文 / 周榮發

2023 年 2 月 8 日

以實現人體器官組織再生為職志的亞果生醫（6748），係研製人體高需求性生物醫材的創新生醫公司，今發表重大生醫技術取得專利進展，所戮力研發的毛髮增生技術取得臺灣經濟部「膠原蛋白顆粒於促進毛囊生成或血管生成之用途」智財專利，由於全球約有數億人受髮量稀疏或不明掉髮之苦，該技術有助於讓人重拾自信、美麗的人生。

根據美國掉髮研究學會的統計，全球具有掉髮症狀的總人數已經超過 10 億人，而衛福部於的統計，國人 25 歲到 65 歲的年齡層中，約有 300 萬人以上有禿頭的困擾，且近年來還有愈來愈年輕化的趨勢，未來 10 年禿髮人數恐突破 500 萬人，然而美麗的外表是人人所追求的，因此需求市場出現多款毛髮增生技術或方式，如萃取天然化合物促使皮膚幹細胞活化，或採用自體毛囊幹細胞進行培養，亦或進行醫美植髮手術，這些方式效果往往達不到使用者的預期，或曇花一現徒增空歡喜。

亞果生醫總經理謝達仁博士表示，公司係以研發生產人體組織器官修護用之生醫材料為主，擁有世界多國專利的超臨界二氧化碳組織器官去細胞技術，今以「膠原蛋白顆粒於促進毛囊生成或血管生成之用途」毛髮增生技術取得專利，不僅再生醫學技術突破既有窠臼，更超前一個世代，目前從全球毛髮增生專利技術相關期刊及文獻，仍看不到能與亞果生醫所研發的相關專利技術匹敵的，該專利技術正同步申請全球專利中。

謝達仁博士接著指出，「膠原蛋白顆粒於促進毛囊生成或血管生成之用途」的專利核准，主要是因為去細胞真皮膠原蛋白顆粒可促進毛囊新生、血管新生並延緩毛囊退化。

從動物實驗中的裸鼠體表真皮下，植入經去細胞技術處理後的毛髮增生材料，約 3~4 周後可發現毛囊組織再生現象，並可清楚目視到毛髮新生，這是生醫技術的一大突破。

而為讓該生醫材料更顯實用性，亞果生醫將與彰化秀傳醫院合作，自 112 年 1 月 1 日起正式進行 IRB 人體臨床試驗。

亞果生醫的毛髮增生專利技術，除為全球數以億計的髮量稀疏者帶來福音，預期也將為該公司於毛髮增生產品市場帶來營收與獲利，有助於長遠發展。

資料來源：

https://tw.news.yahoo.com/%E4%BA%9E%E6%9E%9C%E7%94%9F%E9%86%AB-%E6%AF%9B%E9%AB%AE%E5%A2%9E%E7%94%9F%E6%8A%80%E8%A1%93-%E5%A5%AA%E7%B6%93%E9%83%A8%E6%99%BA%E8%B2%A1%E5%B0%88%E5%88%A9-201000858.html?guccounter=1&guce_referrer=aHR0cHM6Ly93d3cuZ29vZ2xlLmNvbS8&guce_referrer_sig=AQAAALIKLjoBicIWibgYs75ZHBix8BT3azpjeqweVuc0o4QWjnM MhfjkLPWutaczgUVpDyN4m-GbF wxBIRWjPMIPitQ-z42oBB9iHqVzRPUoQm3w-UejgLQyUTyyxpB5kMwQeGmyAQwH19irHDNYPP7EerWp0i-S2h57p9RAKMOZELn



亞果生醫 進軍傷口照護市場

2023/02/23

工商時報 / [周榮發](#)

以實現人體器官組織再生為職志的亞果生醫（6748），係研製人體高需求性生物醫材的創新生醫公司；繼所研發的毛髮增生技術取得臺灣經濟部「膠原蛋白顆粒於促進毛囊生成或血管生成之用途」智財專利後，再以開發之醫療器材產品亞比斯·可拉去細胞膠原基質，獲得台灣衛福部食藥署核准上市（核准字號衛部醫器製第 007731 號），此舉將有助亞果生醫在傷口照護市場的佈局。

該公司總經理謝達仁博士表示，亞果生醫係以研發生產人體組織器官修護用之生醫材料為主，擁有世界多國專利的超臨界二氧化碳組織器官去細胞技術。

不久前才以「膠原蛋白顆粒於促進毛囊生成或血管生成之用途」毛髮增生技術取得專利，不僅再生醫學技術突破既有窠臼，更超前一個世代；今所專業研發的醫療器材產品亞比斯·可拉去細胞膠原基質，再獲衛福部食藥署核准上市，實在是令人雀躍的喜事。

謝達仁指出，根據國家發展委員會統計資料顯示，2025 年台灣將邁入超高齡化社會，意味著高齡以及慢行疾病所衍生的醫療照護問題需求將逐年提高，如慢性疾病所造成的潰瘍傷口，因慢性病傷口癒合時間長，常是復原的一大阻礙，若有生物相容性佳的傷口敷料，將有助傷口快速癒合。此次所核准上市醫材產品亞比斯·可拉去細胞膠原基質為纖維膠狀規格，是專為潰瘍傷口所開發，相信該醫材不僅有助於臨床醫師應用臨床潰瘍傷口治療，同時也將協助亞果生醫在傷口照護產品市場佈局。

資料來源：<https://www.chinatimes.com/newspapers/20230223000390-260210?chdtv>



Supergreen 2022 優良論文

OP-1-3

Excess Molar Enthalpies of the Binary System Carbon Dioxide + Ethyl Lactate at 298.15 and 303.15 K and 5.0 – 7.0 MPa

Hiroyuki Matsuda*, Tomoya Fukui, Kaito Kashioka, Yoshikatsu Furukawa, Kazuyuki
Takizawa, Tatsuki Fujita, Kiyofumi Kurihara, Katsumi Tochigi

Department of Materials and Applied Chemistry, Nihon University, 1-8-14 Kanda Surugadai, Chiyoda-
ku, Tokyo, 101-8308, Japan

*Corresponding author: matsuda.hiroyuki@nihon-u.ac.jp

Abstract

Mixtures of environmentally benign organic solvents with supercritical carbon dioxide (CO₂) have potential applications in various processes such as environmentally benign heat supply systems and supercritical fluid extraction. We focus on the excess enthalpy (H_E) of the system CO₂ + organic solvent near the critical point of CO₂ as a physical property to be considered in the design and development of these processes, and have measured H_E using a flow-type isothermal microcalorimeter (IMC).

In this work, ethyl lactate was selected as the organic solvent to be mixed with CO₂. Ethyl lactate is an ester that can be synthesized from ethanol and lactic acid obtained by biomass fermentation. It also has low toxicity and biodegradability, and is a substance with low environmental impact. Therefore, it is expected to be applied to greener processes. In this work, we measured H_E values for the system CO₂ + ethyl lactate near the critical point of CO₂ (i.e., at temperatures of 298.15 and 303.15 K and pressures of 5.0, 6.0 and 7.0 MPa), using IMC. The experimental H_E data were correlated by the modified Redlich-Kister (mRK) model as a polynomial expression of composition, and the Peng-Robinson (PR) equation of state (EOS) coupled with the van der Waals one fluid mixing rule.

The experimental H_E data showed exothermic behavior at all mole fractions, temperatures and pressures studied. In particular, an extremely large exothermic behavior was observed in the CO₂-rich region at 5.0 and 6.0 MPa and both 298.15 and 303.15 K, with large negative H_E values. The maximum absolute values, $|H_E|_{\max}$, were approximately 7.4 kJ mol⁻¹ at 298.15 K. At all temperatures and pressures (except for 7.00 MPa at both 298.15 and 303.15 K), H_E varied linearly with composition in the CO₂-rich region, which corresponded to a two-phase (vapor and liquid) region, as well as our previous experimental results of H_E for the CO₂ + ester systems.



PP-03

Prediction of Drug Solubility in Supercritical Carbon Dioxide by PC-SAFT EOS

Chen-Chen Wu, Yi-Ru Chen, Chieh-Ming Hsieh*

Department of Chemical and Materials Engineering National Central University, Taoyuan City, Taiwan

*Corresponding author: hsiehcm@ncu.edu.tw

Abstract

This study aims to understand the accuracy of the Perturbed Chain-Statistical Association Fluid Theory (PC-SAFT) EOS [1] in predicting solubility of drug-like molecules in supercritical carbon dioxide (ScCO₂). In PC-SAFT, a modified version of SAFT EOS [2], a molecule is regarded as a long-chain molecule composed of hard spheres of the same size. Three species-dependent parameters are required to describe the sphere diameter, number of spheres and interaction between spheres for each molecule. Besides, interaction site(s) are assigned to a specific position in the molecule, so that the molecule can associate. Two extra species-dependent parameters are required to describe the association interaction between molecules. In this study, a total of 60 drug-like solutes was considered in this work, which includes 22 non-associating solutes and 38 associating solutes. The calculation results from PC-SAFT were compared to those from Peng-Robinson EOS with critical properties estimated from NRR (PR-NRR). For the 22 non-associating systems, there are 13 solutes with vapor pressure experimental data, the average absolute relative deviation (AARD-P) in vapor pressure is 2.53% from PCSAFT, and 48.66% from PR-NRR. For the solubility prediction, the overall deviation in term of ALD-x in solubility for these 22 solid solutes is

0.22 from PCSAFT and 0.52 from PR-NRR. For the 38 associating systems, there are 18 solid solutes with vapor pressure, the average absolute relative deviation (AARD-P) in vapor pressure is 8.56% from PC-SAFT and 88.46% from PR-NRR. For the solubility prediction, the overall deviation in term of ALD-x in solubility for 38 solid solutes is 0.28 from PC-SAFT and 0.64 from PR-NRR.

References

- [1] Gross J, Sadowski G. Perturbed-chain SAFT: An equation of state based on a perturbation theory for chain molecules. 2001; 40: 1244-60.
- [2] Chapman WG, Gubbins KE, Jackson G, Radosz M. SAFT: Equation-of-state solution model for associating fluids. 1989; 52: 31-8..



超臨界 CO₂ 應用於二氧化碳礦化封存

郭子禎編譯

一、前言

二氧化碳封存技術可分為地質封存、海洋封存、礦化封存三種方式。礦化封存是將二氧化碳與鹼土金屬氧化物(如氧化鎂(MgO)或氧化鈣(CaO)等)進行反應，形成固態碳酸鹽類(如碳酸鎂(MgCO₃)或氧化鈣(CaCO₃)等)或其他副產品。在鹼土金屬中，地殼內含鈣及含鎂的矽酸鹽類礦物如蛇紋岩(Mg₃Si₂O₅(OH)₄)、矽灰石(CaSiO₃)等，最常被用來當作礦化封存的原料。

礦化封存可分為乾式及濕式。乾式礦化封存，是指二氧化碳在特定的溫度與壓力下，直接與固態原料進行反應，生成固態碳酸鹽類。濕式礦化封存，則是將原料及二氧化碳溶解於溶液中，由鹼土金屬離子與碳酸根離子(CO₃²⁻)進行反應，形成碳酸鹽而沉澱，再透過分離的程序，分離出固態碳酸鹽。

目前礦化封存技術仍不成熟，主要待解決問題包括：反應速率慢、操作成本高、能量成本高、大規模開採矽酸鹽類礦物對環境造成的破壞、碳酸鹽產物之後續運輸及儲存等。此外，目前礦化封存所需的原料量極為巨大，例如封存 1 噸 CO₂ 需要 2.1 噸蛇紋岩或 2.6 噸矽灰石，產生的碳酸鹽類須要去化管道。

二、水泥業之二氧化碳捕捉

水泥業是世界上第三大工業二氧化碳排放來源，因為製造水泥需要把石灰石和其他材料加熱到很高的溫度，在這個過程中釋放導致溫室效應的二氧化碳。常見的水泥為普通矽酸鹽水泥，其原料基本上是含石灰的物質，如石灰石(CaCO₃)和泥灰(marl)、白堊石(Chalkstone)等，及含黏土的物質，如泥土、頁岩和火山岩等。台泥設在花蓮的和平廠於 2013 年導入工研院的鈣迴路技術，進行「碳捕捉」，每年可捕捉 500~1,000 噸的二氧化碳，將之運用在微藻養殖而產出高值化的美妝保健原料。

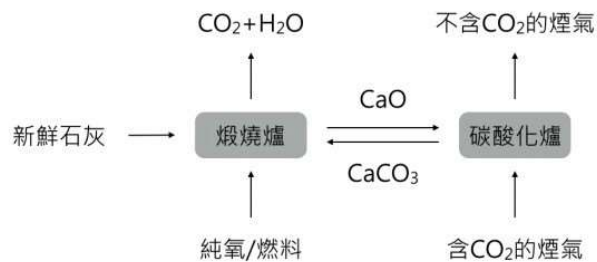
鈣迴路技術主要有以下化學反應：

第一道反應(煅燒)：石灰石經過 850~950°C 煅燒後產生生石灰(CaO)和 CO₂ 氣體；

第二道反應(碳酸化)：生石灰當作吸附劑，在 600~700°C 下與 CO₂ 氣體反應生成石灰石(CaCO₃)。



鈣迴路碳捕獲系統主要由「碳酸化爐」和「煅燒爐」組成。高溫煅燒時使用純氧而非空氣，可獲得高濃度的二氧化碳，經過壓縮、液化、純化可做工業級或食品級用途。而煅燒產生的氧化鈣則作為吸附劑，在碳酸化爐裡與低濃度二氧化碳混和氣(例如來自和平火力發電廠的煙道氣)反應生成碳酸鈣，碳酸鈣再回到煅燒製程重複使用。



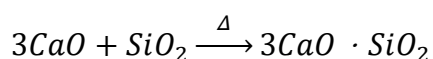
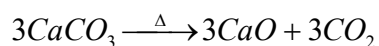
鈣迴路碳捕獲系統之優點為(1)氧化鈣吸附劑亦可吸附煙道氣中的二氧化硫，幾乎可達 SO_x 零排放；(2)氧化鈣捕獲二氧化碳的吸收容量高 (786g CO₂/Kg CaO)，效率可達 90%以上；(3)反覆使用多次後的氧化鈣可藉由蒸氣水合反應(噴蒸氣在氧化鈣顆粒表面形成氫氧化鈣而崩解)使其活性再生，提高循環使用次數；(4)失去吸附活性後的氧化鈣進入水泥廠當作水泥原料。

利用氧化鈣捕捉二氧化碳在常溫下進行緩慢，氧化鈣先吸附空氣中的水產生熟石灰(Ca(OH)₂)，熟石灰再與二氧化碳反應形成碳酸鈣和水。氧化鈣扮演固體吸附劑的角色，捕捉之二氧化碳可作高值化利用，而二氧化碳礦化作用是發生在水泥使用後之自然老化反應(碳酸化反應)。

三、水泥之二氧化碳礦化

利用水泥吸收並固化二氧化碳在近幾年成為礦化封存之研發選項之一。在 1824 年，英國人 Joseph Aspdin 發明了用黏土和石灰煅燒而得到水泥的方法，並且取得英國的專利權。這種水泥的主要成分是一種矽酸鹽，用它製成的混凝土，硬化以後硬度、外觀和顏色，都跟當時英國波特蘭島上所產的波特蘭石材很相近，所以取名為「波特蘭水泥」(Portland cement)。

製造水泥時，CaCO₃(通常為石灰石或方解石)首先經煅燒生成生石灰

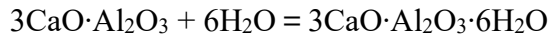
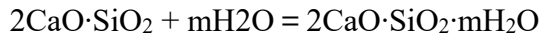
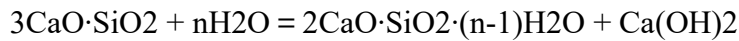


生石灰可加入矽砂，一般取自矽酸鋁凝硬物(黏土或頁岩)，混合物於旋窯在 1350°C 以上煅燒，隨溫度的變化形成不同的單礦物，主要包含矽酸三鈣(3CaO·SiO₂)、矽酸二鈣(2CaO·SiO₂)、鋁酸三鈣(3CaO·Al₂O₃)、鋁鐵酸四鈣

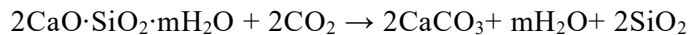
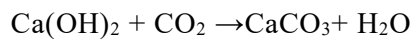


($4\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot\text{Fe}_2\text{O}_3$)等。煅燒完成之產物稱為水泥熟料，再添加約 5%的石膏經研磨後之產物才稱為水泥。

水泥加水後的凝結、硬化包括很複雜的物理化學變化過程，首先水泥微粒表面成分發生水化反應：



矽酸鹽水泥與水反應，主要形成四個化合物：氫氧化鈣、水化矽酸鈣(C-S-H)、水化鋁酸鈣及水化鐵酸鈣，它們共同決定水泥硬化過程特性變化。標準波特蘭水泥之自然熟化反應包括 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ (熟石灰)及水化矽酸鈣(Calcium Silicate Hydrate)之形成。經過一段時間，水泥可自空氣中吸收 CO_2 轉化 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 及一些水化矽酸鈣為 CaCO_3 ，其反應如下。



水泥熟料中的矽酸三鈣、矽酸二鈣與水反應會產生「水化矽酸鈣」(C-S-H)膠體及「氫氧化鈣」($\text{Ca}(\text{OH})_2$)。其中「水化矽酸鈣」為水泥漿中控制強度的主要因素，而「氫氧化鈣」則具有填充孔隙的功能，使強度增強。

水泥水化物中的氫氧化鈣 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 被碳酸化成碳酸鈣 CaCO_3 ，因而使混凝土失去鹼性，此種現象稱為混凝土的「中性化」。在混凝土失去鹼性後，混凝土也失去保護鋼筋生銹的作用，所以中性化是影響鋼筋混凝土結構物「耐久性」的重要性質，可作為決定鋼筋保護層的根據。因此為了防止鋼筋腐蝕而需要充分的保護層，在建築技術規則中明文規定鋼筋保護層的最小厚度。同樣地，水化矽酸鈣經過碳酸化後 Ca/Si 比降低，造成材料降解而影響水泥結構強度。

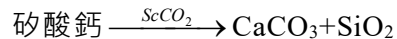
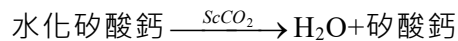
水泥水化物中的氫氧化鈣 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 溶於水滲出混凝土表面而析出，再與空氣中的二氧化碳生成碳酸鈣 CaCO_3 ，固著於混凝土表面並呈白色，此種現象稱為混凝土的「白華」。

由於 CaCO_3 摩爾體積($36.9\text{cm}^3/\text{mol}$)大於 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ($33.1\text{cm}^3/\text{mol}$)，造成孔質層之密封及堵塞，妨礙了反應物 CO_2 之進入及反應產物 H_2O 之流出，自然之碳酸化反應初期甚為快速，隨時間明顯緩慢。最早製造之水泥結構於希臘及中國，經過數千年仍進行此碳酸化反應。

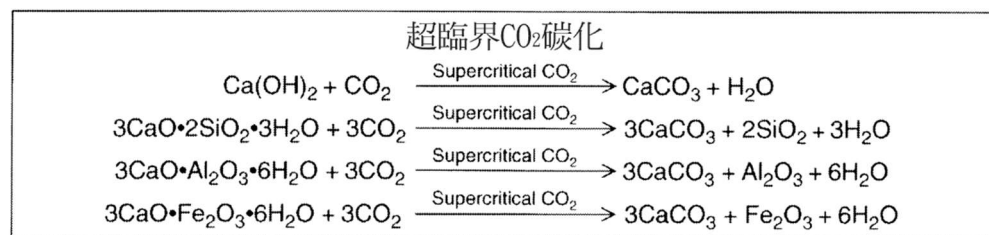


三、超臨界二氧化碳加速水泥碳酸化

若藉由超臨界 CO₂ 加工可自水化矽酸鈣去除水分，並將矽酸鈣及鋁酸鈣轉化為 SiO₂ 或 Al₂O₃。水泥與超臨界 CO₂ 接觸可大大加速碳酸化反應，此加速反應乃由於超臨界 CO₂ 很容易穿透到水泥微孔中所造成，提供連續新鮮反應物 CO₂、高密度 CO₂ 溶解及有利於排除反應產物 H₂O。



利用超臨界 CO₂ 加速碳酸化之理想化學反應如下：



超臨界 CO₂ 之處理會影響水泥漿之微結構，於超臨界 CO₂ 處理之第一階段，水泥孔隙中之游離水先經萃取，經此脫水步驟，會生成 50μm 直徑之通道，於游離水溶解之鈣會與 CO₂ 作用，沿著通道壁與 CO₂ 結晶形成方解石。於第二階段，水化水泥相之結構水經萃取，水泥碳酸化反應會形成更多之碳酸鈣，水附著於矽酸三鈣，包圍著部分水化之水泥硬塊微粒，部分被碳酸鈣形成所取代。圖 1 顯示經超臨界 CO₂ 碳酸化反應前/後波特蘭水泥內礦

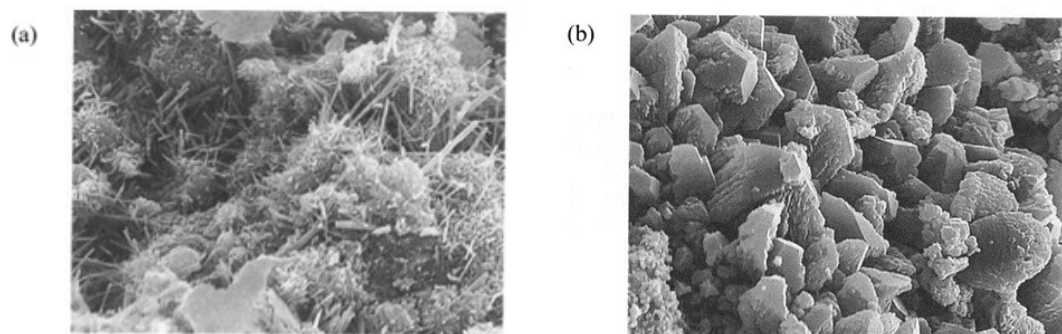


圖 1.波特蘭水泥經超臨界 CO₂ 碳酸化(a)反應前(b)反應後之微結構圖物形態之改變。

波特蘭水泥內自然碳酸化反應會形成細晶粒之 CaCO₃ 結晶，易劣化水泥之結構完整性及降低整體強度。然而利用超臨界流體之碳酸化反應形成大而固化良好之 CaCO₃ 結晶，明顯增加未局限單軸壓縮強度，如表 1 所示。結晶體之成長也造成滲透性百倍之下降，如表 2 所示。



表 1 水泥樣品經超臨界 CO₂ 處理與未經處理樣品之末局限單軸壓縮強度比較

(水/水泥比=0.6 · 於 40°C · 275.8 bar 處理 2 小時)

處理樣品	施加負載(kg)	MOR(bar)	控制樣品	施加負載(kg)	MOR(bar)
1	102.0	62.5	11	67.1	41.2
2	92.5	56.7	12	52.6	32.4
3	99.8	61.1	13	63.9	39.3
4	57.6	35.4	14	85.3	52.3
5	99.8	61.1	15	50.8	31.3
6	102	62.5	16	64.4	39.6
7	88.0	53.9	17	33.6	20.8
8	95.2	58.3	18	50.3	31.0
9	125.2	76.5	19	48.1	29.6

表 2 處理與未處理樣品之滲透性比較

樣品	熟化時間 (days)	飽和 K (cm/s)	真實滲透率,k (cm ²)
w/c=0.6 未處理	3	2.09×10 ⁻⁷	2.14×10 ⁻¹²
		1.95×10 ⁻⁷	2.00×10 ⁻¹²
		1.85×10 ⁻⁷	1.90×10 ⁻¹²
		1.83×10 ⁻⁷	1.88×10 ⁻¹²
		1.74×10 ⁻⁷	1.78×10 ⁻¹²
w/c=0.6 處理 2h 40°C,275.8 bar	3	3.43×10 ⁻⁹	3.52×10 ⁻¹⁴
		3.36×10 ⁻⁹	3.44×10 ⁻¹⁴
		3.38×10 ⁻⁹	3.46×10 ⁻¹⁴

液壓導電度·K 等於真實滲透率 K 乘以移動液體之流動性($\frac{\rho g}{\eta}$)

ρ 為流體密度(g/cm³)·g 為重力加速度(980.07cm/s²)· η 為流體黏度·(poise=g/cm-s)°對 H₂O· ρ =0.998g/cm³· η =0.1007g/cm-s·g=980.67cm/s²·因此 K=k·9.7578×10⁴

為有效的碳化大片之波特蘭水泥·CO₂ 必須過量供應以溶解反應產物 H₂O·此外·CO₂ 供應之流量也須足夠高·使得 CO₂ 可連續清洗掉溶解之水分·不致累積因而抑制碳化反應。

因為超臨界流體為高壓系統·被處理物尺寸受限於壓力容器容積(與設備成本正相關)·在工業化方面比較適合處理水泥預鑄磚塊·棒狀等尺寸在 100cm 以下之物件·採臥式處理槽·台車進出方式·另外·降低超臨界 CO₂ 壓力至 150bar 以下可降低處理槽製造難度與成本。



雖然以超臨界 CO₂ 進行水泥加速碳酸化反應具有提高結構強度、降低滲透率等優點，但因設備成本高宜用來處理高單價的物件。應用領域之一為結合工業廢棄物及利用超臨界 CO₂ 處理波特蘭水泥，前者利用固體廢棄物，這是工業製程產生之副產品，可作為添加料到傳統水泥中作為低成本之建材。例如燃煤電廠產生之飛灰，由於碳酸化反應產生之 CaCO₃ 本身即具化學穩定性，且為極佳之硬化劑，因此可用飛灰取代大部分之波特蘭水泥(飛灰占比可高達 80v%)，且維持同樣水平之耐久性與機械強度。利用燃煤電廠衍生之三種主要廢棄物產品：飛灰、CO₂ 及熱，可加以組合成為可行銷產品以回收所有操作成本，同時可降低飛灰處理成本。

應用領域之二為一般水泥強化，水泥本身即為工業廢棄物，水泥可固化環保規範之重金屬及放射性元素，例如鉻固定於水泥基質可利用碳化反應改善。水泥固化放射性元素必須滿足幾種要求，包括放射活性衰變熱之最大極限。目前衰變熱限制係依據水泥整體氫組成而定，若水泥氫組成可降到重量之 30%，則此改質水泥最大可容許衰變熱可增加 4 倍。表 3 顯示不同熟化時間處理及未處理樣品中水、碳酸鹽及氫氧化物之重量百分比，數據顯示水分含量預期之減量自大於 30%到更小。去除大部分含氫材料(對波特蘭水泥為水)不僅可保證符合固化儲存規範，也可降低水泥廢棄物處理之整體體積。

表 3 未處理及超臨界 CO₂ 處理波特蘭水泥(w/c=0.6) 之 H₂O · CaCO₃ 及 Ca(OH)₂ 重量比

	3 日熟化	7 日熟化
wt% H ₂ O	未處理(TGA):34.2	未處理(TGA):34.3
	處理(TGA):22.4	處理(TGA):25.7
wt% CaCO ₃	未處理(TGA): ≈0	未處理(TGA): ≈0
	處理(TGA):27.7	處理(TGA):25.3
	未處理(XRD):5.0	未處理(XRD):3.4
	處理(XRD):18.3	處理(XRD):18.8
wt% Ca(OH) ₂	未處理(XRD):28.1	未處理(XRD):36.3
	處理(XRD):4.6	處理(XRD):7.5

目前已有飛灰改質波特蘭水泥作為重金屬固化及放射活性廢棄物固化/穩定化性能廣泛之經驗數據，英國與美國已使用這些材料，以水泥灌漿形態作低及中等濃度放射活性廢棄物之固化/穩定化用途。配合利用超臨界 CO₂ 處理之改質特蘭水泥可作預期之改善：(1)增加密度；(2)使鹼性相轉化成中性相，降低 pH；(3)降低重金屬固化之遲滯現象。

波特蘭水泥之碳酸化約可吸收/礦化 260g CO₂/kg 水泥。超臨界 CO₂ 可用於加速未改質波特蘭水泥之自然碳酸化反應，這種處理可強化水泥之物理特性，使用超臨界 CO₂ 可使波特蘭水泥用廉價與低等級火山灰如飛灰來取



代。加速碳酸化反應也可改善波特蘭水泥作為放射活性廢棄物形態之固化特性。碳酸鹽之形成可消除放射分解之潛在問題，同時改善耐溶出性，最終之碳酸鹽基質比未處理水泥更具熱力學穩定性，而飛灰改質水泥更進一步強化這種廢棄物形態之有利特性。

參考文獻：

1. 李元亨，二氧化碳封存 (三)：礦化封存與效益分析，科技大觀園，106/06/27
2. <https://pansci.asia/archives/68937>
3. 何鎮揚，水泥 Cement，發現月刊第 167 期，2010 年 07 月
4. Hartmann, T.; Paviet-Hartmann, P.; Rubin, J. B.; Fitzsimmons, M. R.; Sickafus, K. E. The Effect of Supercritical Carbon Dioxide Treatment on the Leachability and Structure of Cemented Radioactive Waste-Forms. *Waste Manage.* 1999, 19, 355-361.
5. Huang, F. H.; Mitchell, D. E.; Conner, J. M. Low-Level Radioactive Hanford Wastes Immobilized by Cement-Based Grouts. *Nucl. Technol.* 1994, 107, 254-271.
6. Jantzen C. M.; Glasser, F. P.; Lachowski, E. E. Radioactive Waste-Portland Cement Systems: I, Radionuclide Distribution. *J. Am. Chem. Soc.* 1984, 67, 668-673.
7. Jones, R. H., Jr. Cement Treated with High-Pressure CO₂, U. S. Patent 5,518, 540,1996.
8. Lange, L.; Hills, C.; Poole A. (1997). Effects of Carbonation on Properties of Blended and Non-Blended Cement Solidified Wasteforms. *J. Hazard. Mater.* 1997, 52, 193-212.
9. Macias, A.; Kindness, A.; Glasser, F. Impact of Carbon-Dioxide on the Immobilization of Cemented Wastes. *Cem. Concr. Res.* 1997, 27, 215-25.
10. Parrott, L. J. A Review of Carbonation in Reinforced Concrete. British Cement Association, Berkshire, U.K., 1987.
11. Rubin, J. B.; Carey, J. W.; Taylor, C. M. V. Enhancement of Cemented Waste Forms by Supercritical CO₂ Carbonation of Standard Portland Cements. *Proceedings of the American Nuclear Society 1st Topical Meeting on*



Decommissioning, Decontamination, & Reutilization of Commercial & Government Facilities; Knoxville, TN, Sept. 7-12, 1997.

12. Rubin, J. B.; Taylor, C. M. V.; Paviet-Hartmann, P.; Hartmann, T. Ash Cements Stabilized by Supercritical CO₂ Carbonation for Repository Overlayer. Proceedings of NATO Advanced Study Workshop-Turning a Problem into a Resource: Remediation and Waste Management at the Sillamae Site, Estonia; Tallinn, Estonia, Oct.5-9, 1998.
13. Smith, R. W.; Walfond, C. The Effects of Calcite Solid Solution Formation on the Transient Release of Radionuclides from Concrete Barriers. Scientific Basis for Nuclear Waste Management XIV, 1991, 212, 403-409.
14. Suzuki, K.; Nishikawa, T.; Ito, S. Formation and Carbonation of CSH in Water. Cem. Concr. Res. 1985, 15, 213-224.
15. Wilk, C. M. Stabilization of Heavy Metals with Portland Cement: Research Synopsis; Portland Cement Association Report IS007; PCA: Skokie, IL, 1997.
Young, J. F.; Berger, R. L.; Breese, J. Accelerated Curing of Compacted Calcium Silicate Mortars on Exposure to CO₂. J. Am. Chem. Soc. 1974, 57, 394-397.



關於聯華林德

聯華氣體工業股份有限公司是由林德集團及聯華實業股份有限公司共同投資設立，主要業務為提供台灣各產業所必需之工業用氣體，高科技及半導體產業用之電子級氣體，以及醫療及食品製造所須之民生氣體。

聯華林德致力打造全方位氣體供應服務，聯華林德的專長和能力涵蓋整個氣體供應鏈 - 從氣體生產設施的設計和建造，到運行、配送、氣體應用解決方案、安裝和量身定制的物流支持。同時，聯華林德擁有非常齊全的產品線，包含管道輸氣、槽罐車輸氣及瓶裝氣體填充等業務服務。

聯華林德所提供的專業的技術及服務，為台灣的科技產業以及民生工業打下厚實的營運基礎。

穩定的供氣服務

聯華林德擁有全國最大的氣體供應量，並且有科學園區及工業區的地下管網，及專屬於聯華林德的運輸團隊，更有各式規格的設備，可供客戶選擇以增加未來擴充之彈性。並採取備品集中管理，將維修時程壓縮至最迅速，並且有最專業的客服人員可以幫助客戶在最短的時間內解決所有問題。聯華林德並且與國際氣體大廠 Linde 的技術合作，可以提供客戶最先進且最穩定的特殊氣體供應。

目前聯華林德已通過 ISO:9001、ISO14000、OHSAS18000、FSSC 22000 食品安全管理系統 (Food Safety System Certification 22000, FSSC 22000)...各項認證，能夠在符合安全環保的條件下，提供客戶最可靠品質優良的產品，目前國內電子大廠皆為聯華林德之忠實客戶，憑藉就是聯華林德優良的產品供應鏈，以及龐大的運輸團隊，並且有將客戶的滿意當成重要目標之一的專業客服人員。

供應系統與設備

- 整廠供氣設備
- 特殊大宗氣體設備
- 氣體櫃
- 混合氣系統設備



聯華氣體 氣體解決方案供應商

Total Solutions Provider for Gas Supply.

聯華氣體工業股份有限公司是由林德集團及聯華實業股份有限公司共同投資設立，是台灣最大的工業氣體製造商，身為台灣氣體工業製造的領導者，我們的專長和能力涵蓋整個氣體供應鏈——從氣體生產設施的設計和建造，到運輸、配送、氣體應用解決方案、安裝和量身訂製的物流服務。

專注客戶需求與市場發展趨勢，為各行各業開發一系列的氣體生產裝置和供應方案，提供眾多氣體產品和相關解決方案以滿足客戶的需求。



管路供應方案 Pipeline Distribution



大宗氣體供應方案 Bulk Distribution



現場供氣方案 On-site Distribution



瓶裝氣體供應方案 Cylinder Distribution

聯華氣體工業股份有限公司 電子產業相關 訂單/客服專線：(03) 5783876 綜合產業相關 訂單/客服專線：4498-398



官方網站QR Code



TSCFA 台灣超臨界流體協會

Taiwan Supercritical Fluid Association

(夜間班)高壓氣體特定設備操作人員安全衛生教育訓練班



需要有操作證照的單位，歡迎向協會報名。

- 上課日期：**(夜班)3/1~3/10 18:30~21:30**；**3/11~3/12 08:00~17:00(實習)**
- 上課時數：高壓氣體特定設備操作人員安全衛生教育訓練課程時數 35 小時 + 2 小時(測驗)。
- 課程內容：高壓氣體概論 3HR、種類及構造 3HR、附屬裝置及附屬品 3HR、自動檢查與檢點維護 3HR、安全裝置及其使用 3HR、操作要領與異常處理 3HR、事故預防與處置 3HR、安全運轉實習 12HR、高壓氣體特定設備相關法規 2HR，共 35 小時。(另加學科測驗 1 小時及術科測驗約 1~2 小時)
- 上課地點：高雄市楠梓區高楠公路 1001 號【金屬工業研究發展中心研發大樓 2 樓 產業人力發展組】
- 參加對象：從事高壓氣體特定設備操作人員或主管人員。
- 費用：本班研習費新台幣 7,000 元整，**本會會員享九折優惠**。
- 名額：每班 30 名，額滿為止。
- 結訓資格：期滿經測驗成績合格者，取得【高壓氣體特定設備操作人員安全衛生訓練】之證書。
- 報名辦法：1.傳真報名：(07)355-7586 台灣超臨界流體協會
2.報名信箱：tscfa@mail.mirdc.org.tw
3.研習費請電匯至 兆豐國際商銀 港都分行(代碼017)
戶名：社團法人台灣超臨界流體協會 帳號：002-09-018479 (註明參加班別及服務單位)或以劃線支票抬頭寫「台灣超臨界流體協會」連同報名表掛號郵寄台灣超臨界流體協會，本會於收款後立即開收據寄回。

※洽詢電話：(07)355-5706 吳小姐 繳交一吋相片一張及身份證正本



報 名 表

課程名稱	高壓氣體特定設備操作人員安全衛生教育訓練				上課日期	112 年 3/1~3/12	
姓 名	出生年月日	身分證字號	手機號碼	畢業校名	公司產品		
服務單位					電 話		
服務地址	□□□				傳 真		
發票住址	□□□				統一編號		
負 責 人	人	訓練聯絡人 / 職稱		email :			
參加費用	共 元		參加性質	□公司指派		□自行參加	
繳費方式	□郵政劃撥		□支票	□附送現金	報名日期	年 月 日	

※ 出生年月日、身分證字號、畢業校名、電話、地址須詳填，以利製作證書。〔！〕

上課日期時間表

課程名稱：(日間班)高壓氣體特定設備操作人員安全衛生教育訓練班

2023/3/01 (三)	18:30 ~ 21:30
2023/3/02 (四)	18:30 ~ 21:30
2023/3/03 (五)	18:30 ~ 21:30
2023/3/06 (一)	18:30 ~ 21:30
2023/3/07 (二)	18:30 ~ 21:30
2023/3/08 (三)	18:30 ~ 21:30
2023/3/09 (四)	18:30 ~ 21:30
2023/3/10 (五)	18:30 ~ 21:30
2023/3/11 (六)	08:00 ~ 17:00 (實習第 1 組)
2023/3/12 (日)	08:00 ~ 14:00 (實習第 1 組)



(日間班)高壓氣體特定設備操作人員安全衛生教育訓練班

需要有操作證照的單位，歡迎向協會報名。

- 上課日期：**03/06~03/10 08:00~17:00**；**03/09~03/10 08:00~17:00(實習)**
- 上課時數：高壓氣體特定設備操作人員安全衛生教育訓練課程時數 35 小時 + 2 小時(測驗)。
- 課程內容：高壓氣體概論 3HR、種類及構造 3HR、附屬裝置及附屬品 3HR、自動檢查與檢點維護 3HR、安全裝置及其使用 3HR、操作要領與異常處理 3HR、事故預防與處置 3HR、安全運轉實習 12HR、高壓氣體特定設備相關法規 2HR，共 35 小時。(另加學科測驗 1 小時及術科測驗約 1~2 小時)
- 上課地點：高雄市楠梓區高楠公路 1001 號【金屬工業研究發展中心研發大樓 2 樓 產業人力發展組】
- 參加對象：從事高壓氣體特定設備操作人員或主管人員。
- 費用：本班研習費新台幣 7,000 元整，**本會會員享九折優惠**。
- 名額：每班 30 名，額滿為止。
- 結訓資格：期滿經測驗成績合格者，取得【高壓氣體特定設備操作人員安全衛生訓練】之證書。
- 報名辦法：1. 傳真報名：(07)355-7586 台灣超臨界流體協會
2. 報名信箱：tscfa@mail.mirdc.org.tw
3. 研習費請電匯至 兆豐國際商銀 港都分行(代碼017)
戶名：社團法人台灣超臨界流體協會 帳號：002-09-018479 (註明參加班別及服務單位) 或以劃線支票抬頭寫「台灣超臨界流體協會」連同報名表掛號郵寄台灣超臨界流體協會，本會於收款後立即開收據寄回。

※洽詢電話：(07)355-5706 吳小姐 繳交一寸相片一張及身份證正本



報 名 表

課程名稱	高壓氣體特定設備操作人員安全衛生教育訓練				上課日期	112 年 03/06~03/10	
姓 名	出生年月日	身份證字號	手機號碼	畢業校名		公司產品	
服務單位					電 話		
服務地址	□□□				傳 真		
發票住址	□□□				統一編號		
負 責 人	人	訓練聯絡人 / 職稱		email :			
參加費用	共	元	參加性質	<input type="checkbox"/> 公司指派		<input type="checkbox"/> 自行參加	
繳費方式	<input type="checkbox"/> 郵政劃撥		<input type="checkbox"/> 支票	<input type="checkbox"/> 附送現金	報名日期	年	月 日

※ 出生年月日、身份證字號、畢業校名、電話、地址須詳填，以利製作證書。〔！〕

上課日期時間表

課程名稱：(日間班)高壓氣體特定設備操作人員安全衛生教育訓練班

2023/03/06 (一)	08:00 ~ 17:00
2023/03/07 (二)	08:00 ~ 17:00
2023/03/08 (三)	08:00 ~ 17:00
2023/03/09 (四)	08:00 ~ 17:00 (實習第 1 組)
2023/03/10 (五)	08:00 ~ 14:00 (實習第 1 組)



An extraction-based facile method for measuring the solubility of organic solid compounds in **supercritical** carbon dioxide

一種基於萃取的簡便方法 · 用於測量有機固體化合物在超臨界二氧化碳中的溶解度

By **Jian-Lei Qi, Qin-Qin Xu, Jian-Fei Sun, Dan Zhou & Jian-Zhong Yin**

State Key Laboratory of Fine Chemicals, School of Chemical Engineering, Dalian University of Technology, Dalian, China

Abstract

Due to its dual gas- and liquid-like properties, **supercritical** carbon dioxide (scCO₂) is considered an excellent solvent for dissolving precursors and penetrating nanoscale pores. After subsequent calcination, uniformly dispersed metal or metal oxide nanoparticles or nanowires can be obtained. Organometallic salts are commonly used precursors in this method because they usually have high solubility in scCO₂. Therefore, solubility data are essential for the controllable synthesis of such nanocomposites. This work establishes a facile and accessible method for measuring the solubility of organic solids in scCO₂. The solubilities of copper acetylacetonate and cobalt acetylacetonate were obtained at temperatures of 313–333 K and pressures of 11–24 MPa. And the solubilities were within 2.3×10^{-2} to 14.1×10^{-2} g/L for Cu(acac)₂ and 6.9×10^{-2} to 13.4×10^{-2} g/L for Co(acac)₂. The experimental data were fitted to the semi-empirical model with the AARD values of 4.58% and 2.14% for Cu(acac)₂ and Co(acac)₂, respectively, and the obtained equations could be used to predict solubility of the same systems in the experimental range.

Keywords: Cobalt acetylacetone, copper acetylacetone, correlation model, solubility measurement, **supercritical** carbon dioxide

資料來源 : <https://doi.org/10.1080/00986445.2022.2047661>



Design and Operability Challenges for **Supercritical** CO₂ Plants: The sCO₂-Flex Centrifugal Compressor Test Experience

超臨界 CO₂ 工廠的 設計和可操作性挑戰：sCO₂ -Flex 離心壓縮機測試經驗

By **Bigi Manuele, Bisio Valentina, Evangelisti Silvia, Giacotti Marco, Milani**

Alberto, Pellegrini Tiziano

Engineering—New Product Development, Nuovo Pignone Tecnologie Srl, Turbomachinery and Process Solutions, Baker Hughes, Florence 50127, Italy

Abstract

Interest in **supercritical** carbon dioxide (sCO₂) cycles has grown significantly in recent years. The peculiar properties of the fluid open unique opportunities but also poses several challenges. This article aims at narrowing the knowledge gap in operating such plants, leveraging the test experience of a full-scale 5 MW centrifugal compressor (CC) prototype designed for the sCO₂-flex project (H2020 funded program, grant agreement No. 764690). The test rig replicated a complete recycle loop for the compressor. In addition to validating the compressor's performances in its design condition, a larger envelope of operation and transients was explored. The chapter describes engineering groundwork and design choices regarding: (i) transient operation such as pressurized startups and emergency shutdowns (ESDs); (ii) safety relief valves and discharge lines, with possible CO₂ solidification; and (iii) vibrations due to extremely high density. For all these topics, specific challenges brought by the sCO₂ are described. The most meaningful results, in excellent agreement with predictions, are shown; key learnings from the test experience are discussed. The importance of anticipating risks during the design phase is highlighted and recommendations for similar installations are given. The article concludes with hints on testing severe off-design conditions, with two-phase flow at compressor suction.

Keywords: **supercritical** CO₂, centrifugal compressor, operability, safety relief valve, vibrations

資料來源：<https://doi.org/10.1115/1.4055707>



Isobaric Heat Capacity and Density of **Supercritical** H₂O/CO₂ Mixtures: Measurements in a Multifunction Apparatus

超臨界 H₂O/CO₂ 混合物 的等壓熱容和密度：多功能儀器中的測量

By **Hanlin Zhang, Haomin Wu, Sha Li, Dong Liu, Qiang Li**

MIIT Key Laboratory of Thermal Control of Electronic Equipment, School of Energy and Power Engineering, Nanjing University of Science and Technology, 200 Xiaolingwei Street, Nanjing 210094, China

Abstract

Studies on the thermophysical properties of H₂O/CO₂ mixtures for **supercritical** conditions, typical for a promising power generation system are far fewer than those for typical conditions of CO₂ capture and storage (lower temperatures and pressures). In the previous heat transfer studies, we have setup a high-temperature and high-pressure apparatus. Here, we have extended it to a multifunction apparatus to enable the measurements of both the isobaric heat capacity and density that are important for the understanding and prediction of heat transfer behaviors, besides the design of the power generation system. For the experimental conditions, the pressure is 24 MPa, the temperatures range from 300 °C to 410 °C, and the CO₂ mass fractions are 10%, 15%, and 18.5%. The isobaric heat capacities have been measured using the flow calorimeter method. The expanded relative uncertainty is 8.2% for temperatures beyond ±4 °C from the pseudocritical point and is 18.2% near the pseudocritical point. The densities were obtained from the measurements of the pressure drops with an expanded relative uncertainty of 4.8%. These two methods were validated by **supercritical** pure water experiments. The isobaric heat capacity and density data given in this work, as well as our previous heat transfer data, are self-consistent regarding the pseudocritical temperatures of **supercritical** H₂O/CO₂ mixtures.

資料來源：<https://doi.org/10.1115/1.4056229>



Reactor for biomass conversion and waste treatment in **supercritical** water: A review

用於超臨界水中生物質轉化和廢物處理的反應器：綜述

By **Zhong Chen^{ac}**, **Hongzhen Chen^{ac}**, **Yuanjian Xu^a**, **Mian Hu^b**, **Zhongting Hu^b**, **Junliang Wang^b**, **Zhiyan Pan^b**

^a Chongqing Institute of Green and Intelligent Technology, Chinese Academy of Sciences, Chongqing, 400714, China

^b College of Environment, Zhejiang University of Technology, Hangzhou, 310032, Zhejiang, China

^c Chongqing School, University of Chinese Academy of Sciences, Chongqing, 400714, China

Abstract

Hydrothermal treatment of renewable biomass and organic waste using **supercritical** water (SCW) is a sustainable, green, and efficient route for achieving energy recovery, chemicals production, and harmless treatment. The reactor is undoubtedly the central arena where various SCW reactions perform. This review is the first to focus on the special topic, i.e., SCW reactors for biomass conversion and waste treatment. All reported reactors have been classified into three groups to discuss their individual merits and demerits, with a particular focus on their advanced aspects, to minimize or overcome their inherent technical problems (corrosion, plugging, safety issues, poor accessibility, and high energy cost). The first group—metallic reactors—includes tank and tube reactors. These are the most commonly used reactors for diverse SCW processes, and can be operated in three modes: batch, semi-batch, and continuous. The second group includes visual reactors, which are the most attractive experimental devices for SCW processes because they enable visual observation and *in situ* optical detection. These include X-ray/neutron-radiography-based reactors, the diamond anvil cell, sapphire window reactor, fused silica/quartz capillary reactors, and analogous transparent reactors. The last group includes specially designed reactors for different SCW processes geared toward industrial applications, such as reactors for SCW-based hydrolysis, upgrading, gasification, and oxidation. This review provides comprehensive information for the non-expert reader to select a suitable experimental device for fundamental research and discusses diverse advanced concepts for the development of industrial reactors.



Keywords: Supercritical water, Reactor design, Visual reactor, Industrialization, Energy recovery, Hydrothermal

資料來源：<https://doi.org/10.1016/j.rser.2022.113031>



Techno-Economic Comparison of **Supercritical** CO₂, Steam, and Organic Rankine Cycles for Waste Heat Recovery Applications

用於餘熱回收應用的超臨界 CO₂、蒸汽和有機朗肯循環的技術經濟比較

By **Giovanni Baglietto, Simone Maccarini, Alberto Traverso, Paolo Bruttini**

Thermochemical Power Group (TPG) – DIME, Università di Genova, Genoa 16145, Italy

Abstract

Supercritical CO₂ (sCO₂) is taking a growing interest in both industry and academic communities as a promising technology capable of high efficiency, flexibility, and competitive capital costs. Many possible applications are studied in the energy field, from nuclear power plants to concentrating solar power and waste heat recovery (WHR). To evaluate the competitiveness of sCO₂ cycles relative to other competing technologies, mainly steam and organic fluid Rankine cycles (ORC), a specific techno-economic analysis is needed to fairly compare the different technologies for each application, in order to find the most appropriate market position of the innovative sCO₂ plants, compared to the existing steam and ORC solutions. In the present study, techno-economic analysis and optimization have been conducted focusing on WHR applications, for different sizes and cycle parameters operating conditions using an in-house simulation tool. The analyzed cycles were first optimized by aiming at maximizing the net electrical power and then aiming at minimizing the specific capital cost. As a result, compared to traditional plants, we obtained that in the first case, the more complex sCO₂ cycle configuration shows competitive performance, while in the second case, the simpler sCO₂ cycle configuration has a lower specific cost for the same electrical power produced (with a difference of approximately –130 €/kW compared to the steam cycle). In general, while traditional technologies confirmed a good tradeoff between performance and cost, **supercritical** CO₂ cycles show attractive characteristics for applications requiring simplicity and compactness, guaranteeing in the meantime other technical advantages such as water-free operation.

Keywords: sCO₂ power cycles, organic Rankine cycle, steam Rankine cycle, waste heat recovery, techno-economic analysis

資料來源：<https://doi.org/10.1115/1.4055727>



Transient Analysis of a **Supercritical** Carbon Dioxide Air Cooler Using IDAES

使用 IDAES 對超臨界二氧化碳空氣冷卻器進行瞬態分析

By **Russell Gentile, Ladislav Vesely, Jaffer H. Ghouse, Vipul Goyal, Jayanta S. Kapat**

Department of Mechanical and Aerospace Engineering, Center for Advanced Turbomachinery and Energy Research (CATER), University of Central Florida, Orlando, FL 32816

Abstract

Supercritical CO₂ offers a promising solution for meeting modern energy demands. Used as a working fluid in Brayton cycles, it yields greater net efficiencies than traditional atmospheric air or flue gas. To achieve this, however, compressor inlet conditions must be kept close to the critical point (7.32 MPa and 31 °C), posing a design and operations challenge. To cool the working fluid, most designs rely on ambient air which fluctuates in temperature. In this paper, we present a model of one such air cooler that can be used as a digital twin. Our model captures two-dimensional, cross flow, and counter-current geometry while also accounting for heat holdup in the tube and fin material. This was achieved using entirely free, open-source software, namely the Institute for the Design of Advanced Energy Systems (IDAES) process systems engineering (PSE) framework. We demonstrate our model's capability with transient simulations of air temperature changes, predicting CO₂ properties at the compressor inlet. Results show an asymmetric, non-linear response in CO₂ temperature and density, and highlighting the difficulty in working near the fluid's critical point.

Keywords: power generation, sCO₂ air cooler, transient behavior, digital twin, physics-based model, energy conversion/systems, energy systems analysis

資料來源 : <https://doi.org/10.1115/1.4054860>