

生質熱能驅動氨水吸收式製冷系統設計

吳有恒、黃柏昇、林勇偉、李汪盛

行政院農業委員會桃園區農業改良場副研究員、助理研究員、助理研究員及研究員兼作物環境課課長
yhwu@tydais.gov.tw

摘 要

本研究設計一組 35%氨水濃度的單級吸收式製冷系統，並以生物質鍋爐燃燒所排出的高溫煙氣為驅動源，進行製冷作業，製冷系統所產生的冷量用於溫室降溫。吸收式製冷系統是以發生器及吸收器來取代傳統的壓縮機，相較於傳統的壓縮機製冷系統，可減少 80%以上的製冷用電。本系統以高溫煙氣驅動製冷，其它的熱源，如生物質燃燒、工廠的廢熱或蒸氣、引擎的廢熱及太陽能等均可應用於此系統。

關鍵詞：氨水吸收式製冷系統、生質能、生物質鍋爐。

前 言

生物質(biomass)是指通過光合作用而形成的各種有機體，包含所有的動植物與微生物，具備可再生性；而生質能(bioenergy)則是由生物質轉換而生的能源，僅次於煤炭、石油及天然氣，為第 4 大的能源。

農業上利用的生物質主要為農作物、草本與木本植物及農林畜牧廢棄物等，其產量大、可再生、低汙染並可於國內自行生產；同時，其可利用光合作用將空氣中的 CO₂ 固定下來，並在燃料的利用過程中，將 CO₂ 釋放回空氣中，使碳在自然界中被循環利用，不會增加碳排；再者，農業廢棄生物質的再利用，也可減少其對環境的影響。

生物質鍋爐主要用於燃燒生物質，以獲得熱能或電能，極少將其應用於製冷作業。然而，農業上如溫室降溫、畜禽舍降溫、農產品的低溫乾燥及冷藏作業等，均需要低溫冷源，特別是近年來由於溫室栽培技術的精進，農業溫室逐年增多；未來，以溫室為栽培場域的生產業者勢必面臨強烈的競爭。由於臺灣位居熱帶與亞熱帶氣候區，加以近年的氣候暖化效應，夏季高溫季節於溫室內進行作物生產必須投以大量能源來進行降溫作業，以營造適合作物生長所需的環境條件(蔡與吳，2010)。以目前臺灣電力供應緊張的狀況，如能減少溫室降溫的電力需求，將成為溫室經營者重要的競爭利器。

吸收式製冷系統(absorption refrigeration system)的作業方式是以一組發生器(generator)及吸收器(absorber)來取代傳統的壓縮機，並以熱能驅動方式進行製冷作業(Patel *et al.*, 2012)。

由於少了壓縮機的使用，製冷所需的電能需求僅為傳統壓縮機系統的 10%-20%；也由於系統是採用熱能驅動，因此，工廠所產生的廢熱或蒸氣、生物質燃燒所產生的熱與高溫煙氣、太陽能、地熱或瓦斯燃燒等，均可用來製冷。

吸收式製冷系統由 4 個基本元件所組成，包含低壓側的蒸發器(evaporator)及吸收器，以及高壓側的發生器及冷凝器(condenser)。工作介質為冷媒(refrigerant)與吸收劑(absorbent)的混合液(Alsaqoor and AlQdah, 2014; Mbikan and Al-Shemmeri, 2017)。冷媒的循環由發生器，經冷凝器、蒸發器、吸收器，再回到發生器；吸收劑的循環則由發生器經減壓流到吸收器，在吸收器內吸收冷媒後，由泵送到發生器內加熱循環作業(余，2007；Kaushik and Bhardwaj, 1982; Koc *et al.*, 2000)。

本研究設計一組氨水吸收式製冷系統，並以生物質鍋爐所產生的熱煙氣來驅動製冷，製冷系統所產生的冷量被導入溫室，以進行溫室降溫測試。

系統描述

1. 生物質鍋爐

圖 1 為生物質鍋爐，爐膛位於鍋爐中下方，爐膛上方設有料斗、進料調整閥及螺旋輸送裝置，可自動進料並調控進料速度。生物質鍋爐配有風機，可調控抽入鍋爐之風量以控制燃燒速度。燃燒的物料可以是稻殼或是經造粒後的各式生物質成型燃料 (biomass molding fuel, BMF)。物料燃燒後的煙氣會通過爐膛並與熱交換裝置進行熱交換，熱交換裝置內部有水，可利用燃燒熱能提高水溫並輸送至儲水桶內，儲水桶設有出水閥，可將溫水經由管路送到溫室內，並透過熱交換器吹入熱風，進行溫室保溫作業。



圖 1. 生物質鍋爐

Fig. 1. Biomass boiler.

2. 氨水吸收式製冷系統

氨水吸收式製冷系統由發生器、分析器(analyzer)、精餾器(rectifier)、冷凝器、蒸發器、吸收器、循環泵、冷卻塔及膨脹閥所組成，如圖 2 及 3。循環使用之工作介質為氨水混合溶液，濃度 35%，其中氨為製冷劑，水為吸收劑。製冷作業過程為氨水混合溶液在發生器內被加熱，產生高溫高壓高濃度的氨水混合蒸氣，混合蒸氣內的水氣，經由分析器與精餾器，將水分冷卻凝結出來，並回流至發生器。而從精餾器精餾出來的氨蒸氣則流入冷凝器內，冷凝器透過與外部連接的冷卻水進行熱交換，冷凝成常溫高壓的液態氨。此常溫高壓的液態氨被導入儲存桶內，並與來自蒸發器的低溫低壓氨蒸氣進行熱交換，放熱後成為過冷液態氨，此液態氨再被導入膨脹閥，降壓膨脹為低溫低壓的液態氨，低溫低壓的液態氨進入蒸發器，在蒸發器內蒸發吸熱製冷。蒸發後的氨蒸氣進入預冷器，與來自冷凝器的常溫高壓液態氨進行熱交換吸收熱量，成為過熱氨蒸氣。過熱氨蒸氣進入吸收器，與來自發生器並經減壓後的稀溶液進行吸收放熱，排放的熱量則由外部冷卻水進行熱交換帶離；而在吸收器的濃溶液，則利用泵在高壓下送回發生器，周而復始的循環。

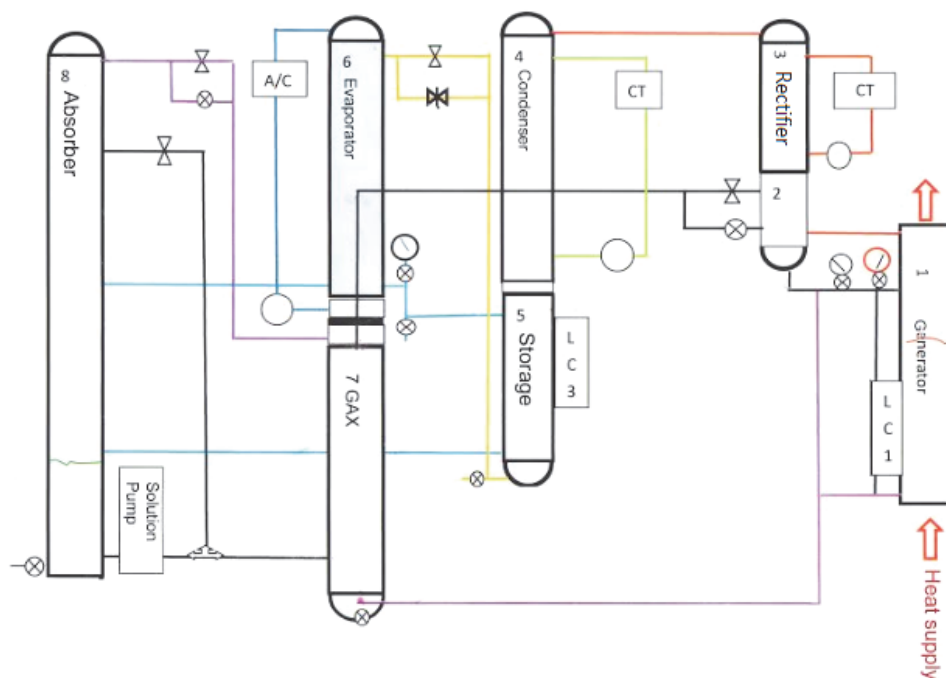


圖 2. 氨水吸收式製冷系統循環圖

Fig. 2. Schematic diagram of aqua-ammonia absorption refrigeration system.



圖 3. 氨水吸收式製冷系統實體圖

Fig. 3. Entity of aqua-ammonia absorption refrigeration system.

3. 氨水吸收式製冷系統結合生物質鍋爐之建置

吸收式製冷系統結合生物質鍋爐樣態如圖 4，系統建置於本場玻璃溫室外側。驅動製冷系統所需的熱能是來自於生物質鍋爐燃燒所排出的熱煙氣，試驗時，熱煙氣由鍋爐排煙管的中段引出，並透過溫度感測器及控制閥控制吸收式製冷系統發生器的加熱溫度，以分離出氨蒸氣。由製冷系統產生的低溫冷源經由管路進入溫室內(圖 5)，並透過熱交換機風扇(圖 6)強化對溫室的吸熱作用，以進行降溫效能測試。



圖 4. 生物質鍋爐結合氨水吸收式製冷系統

Fig. 4. The biomass boiler combines with aqua-ammonia absorption refrigeration system.



圖 5. 降溫測試之溫室

Fig. 5. Greenhouse for cooling test.



圖 6. 溫室內部之熱交換機組風扇

Fig. 6. Heat exchanger fan inside greenhouse.

系統作業方式及影響因子分析

1. 本研究之生物質鍋爐除燃燒過程所產生的高溫煙氣可應用於製冷外，此爐亦可同步燒製生物炭及進行水體加熱。生物炭可作為土壤改良劑，有助於作物生長；加熱的水體則可透過管路循環進入溫室內，進行溫室的保溫作業。
2. 生物質鍋爐配備螺旋輸送機，可穩定輸送造粒後的生物質顆粒進入燃燒室內燃燒，以維持吸收式製冷系統所需的 120-140℃ 較佳煙氣溫度。也由於吸收式製冷系統是使用燃燒後排出的熱煙氣，因此，製冷作業並不影響鍋爐生物炭的燒製及水體的加熱效能。
3. 本研究的生物質鍋爐可自動進料及控制燃燒，可產生穩定的煙氣。生物質鍋爐熱效率約 70%-80%，排煙損失約 13%。
4. 生物質鍋爐使用 BMF 為燃料，此類燃料主要為莖狀農作物、花生殼、樹皮、鋸末及椰纖等經過加工產生的塊狀燃料，其直徑一般為 6-8 mm，長度為其直徑的 4-5 倍，發熱量介於 3,000-4,800 kcal kg⁻¹。
5. 氨水吸收式製冷系統初始測試時，系統灌注濃度 35% 的氨水，並以電熱管定溫直接加熱發生器，利用氨與水沸點的不同，使發生器連續產生氨蒸氣，以供進行製冷循環溫度及壓力的量測，以及性能係數的計算。待確認製冷系統各項性能後，再引入生物質鍋爐燃燒所產生的熱煙氣，以避免生物質燃燒的不穩定性影響製冷系統的性能測試。
6. 吸收式製冷系統是利用氨液的蒸發潛熱來吸收熱能以進行製冷作業，因此，氨與水需要完全分離，並使流經冷凝器與蒸發器的氨氣濃度提高至 99% 以上。然而，由於氨與水有極高的親和性，僅依賴發生器加熱，不足以完整分離氨與水；傳統上會在發生器之後再增設分离器及精餾器以取得高濃度的氨氣，提升製冷系統的製冷表現。
7. 製冷時的性能係數(coefficient of performance, COP)代表蒸發器產生的製冷量與投入發生器熱量的比值。提升 COP 可藉由提高發生器溫度(Kaushik and Bhardwaj, 1982)；或進行精餾器流道設計，提升精餾器純化氨水混合氣的效能(Fernández-Seara and Jaime Sieres, 2006)；或藉由縮小製冷系統高壓與低壓側間的壓力差來達成。
8. 當氨液中含有水分時，在壓力不變狀態下，氨液蒸的沸點上升；如要保持蒸發溫度不變，則蒸發壓力要較純氨製冷的蒸發壓力低。
9. 吸收式製冷系統是以吸收器和發生器來取代傳統的壓縮機運作，因此，可大幅減少電能的使用，有助於紓解用電的負載；同時由於吸收式製冷系統是以低階熱能驅動系統來達到製冷目的，其可運用的能源相當多樣，舉凡低壓蒸氣、工廠廢熱、生物質燃燒的熱能等均可使用，能源的再利用率也可增加，未來可發展應用於工廠的空調、溫室的降溫或是農產品的冷藏及冷凍作業等。

10. 吸收式製冷系統雖以低階熱源來驅動，但如何針對各項熱能來源進行取熱，以供製冷系統高效率的使用是未來需要建立的重要技術(郭與徐，2013)。
11. 現行溫室降溫作業多使用風扇水牆，而風扇水牆的使用易拉高溫室環境濕度，溫室在高溫多濕的狀態下，作物容易產生病害，以吸收式製冷方式進行溫室降溫作業將不致提高溫室的相對濕度。
12. 由於氨水製冷系統是以氨為製冷劑，對環境及臭氧層無害，可同步製冷及製熱。同時由於系統主要由熱交換器組成，其結構簡單，震動及噪音皆小。
13. 育苗室或溫室的保溫目前大都採用電熱、燃油或熱泵等加熱方式進行保溫作業，其保溫費用高，因此，思考如何降低保溫費用是業者經營的重要的課題。再者，目前農產品冷藏處理都是利用電能，在目前能源短缺的現況下，電能供應勢必面臨考驗。因此，開發以生物質燃料為核心的冷熱源產生技術，並將其應用於農業生產上將有其重要價值。

結 論

本研究完成生物質鍋爐及氨水吸收式製冷系統應用於溫室降溫之設計及建置，未來將逐步進行系統的各項效能測試；並導入生物質燃燒系統，以生物質鍋爐排放的熱煙氣來驅動製冷，進行系統 COP、生物質消耗量及溫室降溫成效評估等，以及系統的分析與修正。

參考文獻

- 余昆穎。2007。使用分子篩提高氨氣濃度於吸收式冷凍系統之研究。碩士論文。國立成功大學機械工程學系，台南、臺灣。
- 郭啟榮、徐崧蔚。2013。ORC 低階熱能發電技術與應用。機械工業。367: 66-78。
- 蔡致榮、吳有恒。2010。農業設施節能技術與系統研發。出自”農業工程與節能減碳學術研討會專刊。台中：農業試驗所。p.38-69。
- Alsaqoor, S., and K. S. AlQdah. 2014. Performance of a refrigeration absorption cycle driven by different power sources. *Smart Grid and Renewable Energy* 5(07): 161-169.
- Fernández-Seara, José, and Jaime Sieres. 2006. The importance of the ammonia purification process in ammonia–water absorption systems. *Energy Conversion and Management*. 47(13-14):1975-1987.
- Kaushik, S.C., and Bhardwaj, S.C. 1982. Theoretical analysis of ammonia–water absorption cycles for refrigeration and space conditioning systems. *International journal of energy research* 6(3):205-225.

- Koc, A., A.T. Bulgan, and N.A. Öztürk, 2000. Design and analysis of a water-ammonia absorption refrigeration system. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part A: Journal of Power and Energy* 214(5): 449-454.
- Mbikan, M., and T. Al-Shemmeri. 2017. Computational model of a biomass driven absorption refrigeration system. *Energies* 10(2): 234.
- Patel, V. D., A. J. Chaudhari, and R. D. Jilte. 2012. Theoretical and experimental evaluation of vapour absorption refrigeration system. *IJERA*: 128-131.

Design of an Aqua-ammonia Absorption Refrigeration System Driven by Biomass Thermal Energy

Yu-Heng Wu, Po-Shen Huang, Yung-Wei Lin, and Wang-Sheng Li

Associate researcher, assistant researcher, assistant researcher, and researcher & chief of crop environment section,

Taoyuan district agricultural research and extension station, COA

yhwu@tydais.gov.tw

Abstract

The study designs a single-stage absorption refrigeration system with an ammonia concentration of 35%, which is driven by the high-temperature flue gas discharged from the biomass boiler to carry out the refrigeration operation. The cooling capacity generated by the refrigeration system was used for greenhouse cooling. The absorption refrigeration system replaces the conventional compressor with a generator and an absorber, which can reduce the cooling power by more than 80% compared with the conventional compressor refrigeration system. The system uses high-temperature flue gas to drive refrigeration, and other heat sources, such as biomass burning, waste heat or steam from industrial processes, exhaust heat from engines, and solar energy, can also be applied to this system.

Key words: aqua-ammonia absorption refrigeration system, bioenergy, biomass boiler.

