

# 量子機械於能源領域最新研發技術現況

## The Current State of Research and Development Technology of Quantum Machines in the Energy Industry

陳柏志<sup>1\*</sup>、楊竣翔<sup>2</sup>、鄭詠仁<sup>3</sup>

<sup>1</sup> 工研院機械所 先進機械技術組 節能機械系統部 工程師

<sup>2</sup> 工研院機械所 先進機械技術組 節能機械系統部 經理

<sup>3</sup> 工研院機械所 先進機械技術組 副組長

**摘要：**在能源領域中，古典的熱機（如引擎）因受熱力學循環（如卡諾循環、奧圖循環）的限制，其工作效率面臨熱力學極限，因此須尋求突破此一困境的解決方法。隨著量子力學的發展，使得量子與古典熱力學結合，成為全新的量子熱力學。因此，量子熱力學的發展與應用將是解決古典熱力學中熱力學極限的重要途徑。本文將針對量子機械於能源領域最新研發技術現況，包括量子熱引擎、冷凍機與熱泵等進行介紹，使讀者瞭解目前量子熱機的發展趨勢。未來可以透過量子技術研發更高效率的熱機，突破傳統熱機的瓶頸，建立量子熱機工程，開發全新的量子熱機產品。

**Abstract :** In the energy field, classical thermal machines (such as engines) are subject to thermodynamic cycles (such as Carnot cycle, Otto cycle). Their working efficiency faces thermodynamic limits. Therefore, solutions to break through this dilemma must be sought. With the development of quantum mechanics, quantum and classical thermodynamics can be combined to become new quantum thermodynamics. Therefore, the development and application of quantum thermodynamics will be an important way to solve the thermodynamic limits in classical thermodynamics. This paper will introduce the current state of the art in quantum technology in the field of energy, including quantum heat engines, quantum refrigerators and quantum heat pumps to make readers understand the current development trend of quantum thermal machines. In the future, the more efficient heat engines can be developed through quantum technology to break through the bottleneck of traditional thermal machines. Quantum thermal machine engineering can be established to develop new quantum thermal machine products.

**關鍵詞：**量子機械、能源領域、熱機

**Keywords :** Quantum machine, Energy field, Thermal machine

### 前言

古典力學主要基於牛頓力學，物體的運動是確定的。但在微觀系統中，有些物體的運動卻不遵守古典力學，無法以古典力學解釋，因此發展出了量子力學以解決此問題。量子力學誕生於二十世紀初，主要催生者包括蒲朗克、海森堡、

薛丁格、愛因斯坦等人。在古典力學中，其狀態或以電腦位元而言不是 0 即是 1，而量子力學則是具有 0 與 1 的疊加狀態，即同時具有 0 與 1 的狀態。量子位元除了有疊加態之外，還有另一特性則是量子糾纏，此一特性使得分處兩地的兩個量子位元能共用量子態，因此每增加一個量子位元，運算效能就能增加一倍。應用量子力學原理所開

發的機械稱為量子機械 [1-3]。量子機械的應用包括量子熱機 [4]、量子電腦 [5]、量子機器人 [6] 與量子馬達 [7] 等。在能源領域的應用主要為量子熱機，包括量子熱引擎、量子冷凍機、量子熱泵等。第一台量子機器於 2010 年問世 [1, 2]，在那之前，所有的機器都是按照古典力學運作的。

古典的熱機，包括引擎、冷凍機和熱泵，已大量且廣泛地應用在工業與民生中。例如，引擎應用在車輛、船舶、飛機、火箭等，冷凍機則應用於食品冷凍冷藏、空調、製冰及工業生產過程等方面。此外，熱泵應用在空調冷氣、熱水系統、熱裂解製程、冷凍肉品加工等。古典的熱機 (如引擎) 受熱力學循環 (如卡諾循環、奧圖循環) 的限制，其工作效率面臨熱力學極限，因此研究人員尋求突破此一困境的解決方法。隨著量子力學的發展，使得量子力學與古典熱力學結合，成為全新量子熱力學。因此，量子熱力學的發展與應用將是解決古典熱力學中熱力學極限的有效途徑。所以，本文將針對量子機械於能源領域最新研發技術現況，包括量子熱引擎、冷凍機與熱泵等進行介紹，使讀者瞭解目前量子熱機的發展趨勢。

### 量子熱機

量子熱機使用量子系統作為工作介質進行熱力循環，很早以前 Scovil 與 Schulz-Dubois[8] 就

運用此觀念，使用三能級邁射 (Three-Level Maser) 作為一種熱引擎。

古典卡諾引擎的熱力循環是基於可逆的卡諾循環，以壓力 - 體積作圖，如圖 1(a) 所示 [9]，古典的卡諾循環包含兩個等溫過程，即 1→2 和 3→4 以及兩個絕熱過程，2→3 和 4→1。在量子卡諾引擎中，基於一個二階量子系統的量子卡諾循環，如圖 1(b) 所示 [9]。其中， $\Delta$  為能階間距， $P_e$  是激發態的佔有機率。

同樣地，量子卡諾循環包含兩個量子等溫過程，即 A→B 和 C→D，以及兩個量子絕熱過程，B→C 和 D→A。在等溫膨脹 (壓縮) 過程 A→B (C→D) 中，工作物質與高溫  $T_h$  (低溫  $T_l$ ) 熱浴接觸。在絕熱過程中為確保循環是熱力學可逆的，需要滿足兩個條件，(1) 工作物質在量子絕熱過程 B→C 後仍然滿足玻爾茲曼分佈。(2) 在量子絕熱過程之後，工作物質的有效溫度  $T_l$  等於隨後的量子等溫過程 C→D 的熱浴的溫度  $T_l$ 。

古典卡諾引擎使用的是一種假想的可逆熱力循環，但實際上，在汽車中的內燃機使用的是奧圖循環引擎。以四行程汽油引擎為例，包括進氣、壓縮、動力和排氣四行程。古典的奧圖循環由兩個等容過程和兩個絕熱過程組成，如圖 2(a) 所示 [9]。其中， $V_h$  和  $V_l$  是兩個古典等容過程中的工作物質的體積。過程 1→2 (3→4) 是古典的等容加熱 (冷卻) 過程，並且過程 2→3 (4→1) 是古典的絕熱

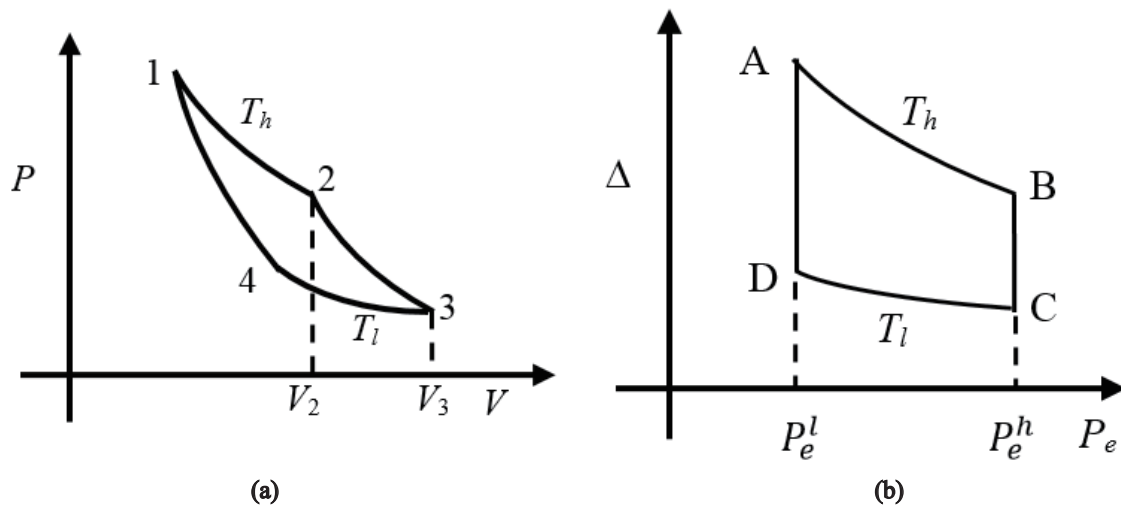


圖 1 古典與量子卡諾引擎 (a) 古典卡諾引擎 (b) 量子卡諾引擎

## 更完整的內容

詳見 ■ 機械工業雜誌 ■ · 427 期 · 107 年 10 月號

---

機械工業雜誌 · 每期 **220** 元 · 一年 12 期 **2200** 元

劃撥帳號：07188562 工業技術研究院機械所

匯款帳號：兆豐國際商業銀行新竹分行(代號 017)，帳號/ 203-07-02288-0

訂書專線：03-591-9339

傳 真：03-582-2011

機械工業雜誌 · 官方網站：[www.automan.tw](http://www.automan.tw)

機械工業雜誌 · 信箱：[jmi@itri.org.tw](mailto:jmi@itri.org.tw)