

# 有機朗肯循環機組振動噪音之故障診斷與分析

## Diagnostic of Vibration and Noise for an Organic Rankine Cycle System

陳錦城<sup>1\*</sup>、李毓仁<sup>2</sup>、張永源<sup>3</sup>、楊亮瑜<sup>4</sup>、林其光<sup>5</sup>

<sup>1</sup> 工研院綠能所 資源應用技術組 風力發電研究技術研究室 資深工程師

<sup>2</sup> 工研院綠能所 電力及電網技術組 電力電子研究室 資深工程師

<sup>3</sup> 工研院綠能所 資源應用技術組 風力發電研究技術研究室 正工程師

<sup>4</sup> 工研院機械所 智慧機械產業推動組 副研究員

<sup>5</sup> 工研院綠能所 資源應用技術組 風力發電研究技術研究室 工程師

**摘要：**有機朗肯循環 (Organic Rankine Cycle, ORC) 發電機組乃利用有機工作流體的物理特性並利用作功元件，將中低溫熱能轉換為機械旋轉能，再利用發電機將此旋轉動能轉換為電力輸出。ORC 屬於封閉式循環系統，主要元件為泵、蒸發器、膨脹機、發電機及冷凝器。由於工作流體僅與冷熱源透過熱交換器進行能量交換，故此系統具備可靠度高、維修少和壽命長等優點。

本研究針對 ORC 主要部件的振動噪音進行監測，同時可透過本系統即時找到運轉測試狀況，提早警告以避免機組部件損壞。於 ORC 發電機組裝設狀態監控系統，除可針對運轉狀態下次系統的元件損傷進行檢測，亦能對其他組裝後的異常狀態發出預警，可有效降低 ORC 發電機維護成本。

**Abstract :** Organic Rankine Cycle (ORC) is based on the properties of organic working fluid to convert low-grade heat into mechanical energy and finally into electric energy through a generator. The heat of ORC system is supplied in a closed loop. The ORC system consists of a pump, evaporator, expander, generator, and condenser. Since the working fluid only exchanges energy through a heat exchanger with heat source and cold source, the ORC system offers high reliability, low maintenance and a long life advantages.

This paper aims at monitoring the vibration and sound of a 200 kW ORC system. Through the monitoring system, errors and failures can be detected to provide early warning to avoid damage of major components. The damaged parts can be detected ahead of time by the running state of the ORC unit. In addition, the maintenance costs can be reduced with the early warning of the monitoring system.

**關鍵詞：**有機朗肯循環、故障診斷、振動

**Keywords :** Organic rankine cycle (ORC), Fault diagnosis, Vibration

### 前言

為因應全球暖化問題日益嚴重，除巴黎協定 (Paris Agreement) 於 2016 年 11 月 4 日已正式生效，各國亦積極發展再生能源及推出節能減碳政策。根據台灣能源局資料，2017 年台灣能源總供

給量已達 146 百萬公秉油當量，國內消費量已達 85 百萬公秉油當量，有逐年上升之趨勢，且工業部門消費量就占了 31.97%。在工業部門能源耗量中，亦包含了大量廢熱排放。廢熱依溫度分為高溫廢熱 (高於 650°C)、中溫廢熱 (介於 230°C 至 650°C) 以及低溫廢熱 (低於 230°C)[1]。

根據台灣經濟研究院於 2011 年發表之區域能源整合調查與策略建議報告指出，台灣工業廢熱溫度 200°C 以下超過 64%，比例相當高 [2]。但低溫廢熱 (<200°C 空氣或 <100°C 熱水) 大部分皆散熱後直接排放至環境，造成汙染及浪費；如一般化學廠及金屬熱處理廠皆直接排放 100°C 以下之類熱，並無回收機制。

美國能源部 (Department of Energy, DOE) 和美國能源資料協會 (Energy Information Administration, EIA) 年度能源調查指出：美國工業廢熱年排放量高於國內所有再生能源總合，除了積極開發新能源技術外，提高能源使用效率刻不容緩。美國工業部門的能源耗量占全國能源耗量 30% 以上，DOE 指出工業廢熱最具熱能回收價值；在工業廢熱排放中，美國環保署 (EPA) 亦指出 350°F(168°C) 以下低溫廢熱占比達排放廢熱 60%。

能源價格直接影響製造商成本和競爭力，必須提升能源使用效率，以降低能源使用量並減少溫室氣體排放量。美國工業部門的能源使用效率不及 45%，藉由廢熱回收和再利用，可推升能源使用效率至 80%；因此，美國前總統歐巴馬於 2012 年 8 月 30 日以行政命令 - 加速投資工業能源效率 (Executive Order-Accelerating Investment in Industrial Energy Efficiency) 推動汽電共生 (Combined Heat and Power, CHP) 設備投資，預計於 2020 年前促進工業部門投資 40 GW 的 CHP 設備容量。此行政命令亦推波助瀾低溫廢熱回收和應用，低溫廢熱發電技術和應用受其利，預估 2024 年廢熱供電市場將超過 300 億美元 [3]。

有機朗肯循環 (Organic Rankine Cycle, ORC) 發電技術因具有高可靠度與高發電效率等特性，為有效回收低溫廢熱之技術之一。

## 有機朗肯循環發電機組

低溫廢熱回收發電技術簡述如下：

1. 卡林那循環 (Kalina cycle) 發電技術：採用氨和水的混合物當工作流體，蒸發壓力高且系統動態控制複雜，造成系統穩定度差、維修頻繁且

費用高。

2. 壓電 (Piezoelectric Generation) 材料發電：將溫差能轉換為機械振動能，並以壓電材料產生電力。此種技術目前發電效率僅 1%，成本昂貴且尚未有商品化產品。
3. ORC 發電技術：根據冷熱源溫度範圍，選用合適有機工作流體 (例如：冷媒、氨等)，將熱能轉換為電力輸出。

ORC 機組具備發電效率高、穩定度佳和壽期長 (20 年) 等產品特性。1980 年代起就有大型發電量機組 ( $\geq 1\text{MW}$ ) 商業運轉、2005 年起數十至數百 kW 級產品則如雨後春筍般陸續問世。根據 Global Market Insight 指出，2024 年 ORC 市場將成長超過 17% [3]。

考慮上述的廢熱回收技術種類及工業廢熱排放條件，廢熱回收發電開發的關鍵因素在於：

1. 開發高效率的低溫熱能回收發電系統：一般低溫熱能回收不易，主因是回收效率低，而降低使用者投資意願。
2. 建立彈性化的熱能回收技術：製程廢熱之溫度及熱量非常廣泛，若系統僅針對某一熱源溫度及回收量，應用將會受限。
3. 低成本 (高性價比) 之回收技術：設備的成本將影響使用者的投資意願，若機組成本高對於節能效益影響不大。
4. 緊湊型機組：廢熱回收發電通常應用於製程上，若因工廠的空間受限，機組體積大小將影響建置意願。
5. 能源回收的應用：一般廢熱回收設備係將熱能回收應用，若沒有熱量應用的環境，回收熱能顯得多此一舉，故回收後的能源運用也將會是主要關鍵。

工業廢熱因工廠產能狀況，廢熱溫度和排放量隨之變動，且廠區冷源一般採用冷卻水塔的冷卻水，溫度隨季節變動。因此，上述低溫熱能發電系統中，ORC 最適合工業廢熱回收發電用途。ORC 可依據冷源和熱源溫度範圍，選用合適的低溫沸點有機工作流體，將熱源和冷源間的溫差熱

## 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)