

優化製程操作 確保產品品質

運用貝氏網路解析 低硫燃油最佳流動點

文·圖 呂政芳／煉製研究所、趙仁德／煉製事業部

重油加氫脫硫工場（RDS）是煉油廠的重要製程之一，主要做為重油轉化工場的前處理單元，也可產出低硫燃油，可供鍋爐加熱或火力發電之用，影響煉廠效益極大。低硫燃油常因流動點（pour point）偏高影響品質，導致客訴事件。低硫燃油的流動點，是其具有流動性的最低溫度；流動點越高，越不易流動，將增加輸送成本，如：加熱保溫輸送管路的能耗。因此，高流動點的低硫燃油，易造成客戶端輸送的困擾，徒增客訴事件。

結合機率和圖形理論 診斷流動點異常原因

本研究主要考慮流動點相關變數，結合專家知識與操作歷史數據，利用貝氏網路（Bayesian Network, BN）解析流動點異常要因，優化製程的操作變數，產出合格的低硫燃油，減少客訴。對於不確定性、相互影響的問題或者錯綜複雜系統，貝氏網路具有高效率 and 推理準確性，最近幾年已經被廣泛地應用於協助疾病診斷、工業設計與改善系統的可靠度和安全性等。

貝氏網路又稱信任網路（Belief Network）或因果網路（Causal Network），結合機率理論和圖形理論，可用來表示低硫燃油的流動點和其

影響因子關係。基於貝氏定理，以建構變數間的因果關係為最主要的目標。在 BN 的模型中，各個變數以節點（node）來表示，節點與節點間的箭號線則表示兩者為因果（父—子）關係而非條件獨立。每個節點包含各種狀態的機率訊息，演算時需使用到父代節點的機率、關聯到子代節點的條件機率表（Conditional Probability Tables, CPTs）。此外，專家判斷或過往經驗可納入 BN 之中，以修正數據資料不全或偏離經驗的狀況。

本研究蒐集大林廠第三 RDS 工場每日操作數據的平均值，共計 1,463 筆，相關的變數列於

表 1 解析低硫燃油流動點問題之變數

	變數名稱	說明	單位	類型
1	Pourpoint_Feed	進料（重油）的流動點	°	連續
2	Pourpoint_Product	成品（低硫燃油）的流動點	°	連續
3	Catalyst	觸媒廠牌	—	離散
4	Throughput	進料流量	—	連續
5	343+	成品流量	—	連續
6	R-3001_outlet	第一反應器出口溫度	°C	連續
7	R-3002_outlet	第二反應器出口溫度	°C	連續
8	R-3003_outlet	第三反應器出口溫度	°C	連續
9	R-3004_outlet	第四反應器出口溫度	°C	連續
10	R-3005_outlet	第五反應器出口溫度	°C	連續
11	WABT	平均煤床溫度	°C	連續

圖 1 Netica 實現之完整 BN 架構圖

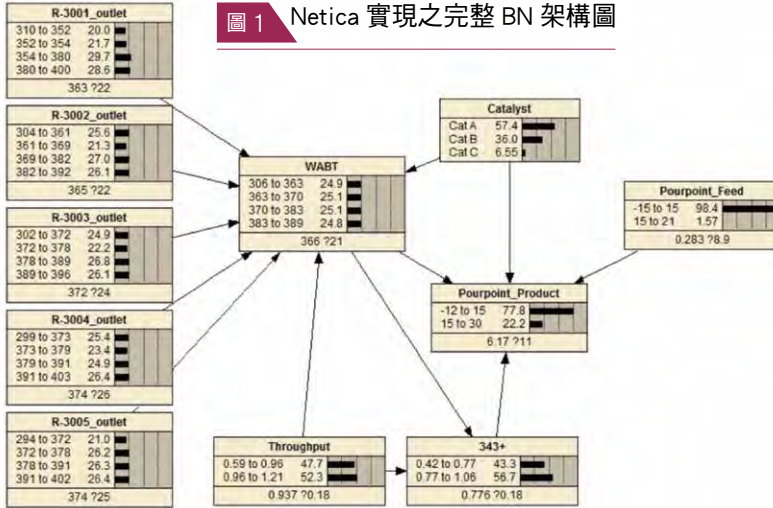


表 2 低硫燃油流動點問題之敏感度分析

節點	MI
Pourpoint_Product	0.76415
WABT	0.04735
Catalyst	0.02858
343+	0.00439
Pourpoint_Feed	0.00346
Throughput	0.0002
R-3005_outlet	0.00001
R-3004_outlet	0
R-3003_outlet	0
R-3002_outlet	0
R-3001_outlet	0

表 1。其中，對於溫度相關的變數，我們分為 4 個分段；其餘的連續類型變數，則取 2 個分段。流動點相關的變數，則以合格管制值（15°）做為分段點。

建構貝氏網路通常依據領域專家的知識建立節點，再透過大量的資料訓練與學習。本研究以大林廠第三 RDS 工場為例，考慮流動點相關變數並依照專家知識建立 BN 結構圖，蒐集近 4 個操作週期資料進行學習，並藉由 Netica（貝氏網路分析軟體）實現完整 BN 架構圖（圖 1），再深入推理分析，以輔助製程優化。

解構影響流動點的關鍵 管理者可擬定策略方針

（1）敏感度分析

敏感度分析（Sensitivity analysis）涉及貝氏網路建模中評估預測變項由其他變量解釋的程度，亦指分析每一輸入節點狀態的改變，對於輸出節點狀態改變的影響程度。敏感度分析作用在於確定哪些重要變量「驅動」模型，便於管理者確定重要變項以投入心力加強關注。藉由 Netica 的敏感度分析，我們可以瞭解節點之間的依賴性程度。以「Pourpoint_Product」而言，Netica 演算出節點的相互資訊（mutual

information, MI）。依照 MI 由高而低列於表 2，其中 MI 越高，代表對於「Pourpoint_Product」的影響越強。因此，我們可以看到 MI 最高的是「WABT」（平均煤床溫度），即說明平均煤床溫度影響低硫燃油流動點最明顯，這與專家知識相符。而「Catalyst」（觸媒廠牌）居次，顯示觸媒特性的影響也不容忽視。

（2）影響分析

影響分析（Influence Analysis）是指選定輸入變量設定為最佳或最差情境值，以評估其對於預測變項的影響機率。管理者可據此擬定優先活動以達到最佳效果，或避免不良後果。如圖 2 所示，選定各輸入變量對於不合格流動點進行影響分析，研究發現：當「WABT」值介於 306 ~ 363 °C、同時採用「Catalyst C」、 「Pourpoint_Feed」（進料的流動點）值介於 15 ~ 21 ° 以及「343+」值介於 0.77 ~ 1.06 之間，不合格流動點比率高達 87.5%。又如圖 3 所示，當「WABT」值介於 370 ~ 383 °C、同時採用「Catalyst A」、「Pourpoint_Feed」值介於 -15 ~ 15 ° 以及「343+」值介於 0.42 ~ 0.77 之間，不合格流動點比率降為 0.58%。影響分析結果，提供管理者擬定策略以確保油品品質。

圖 2 以高度不合格流動點狀況所進行的影響分析

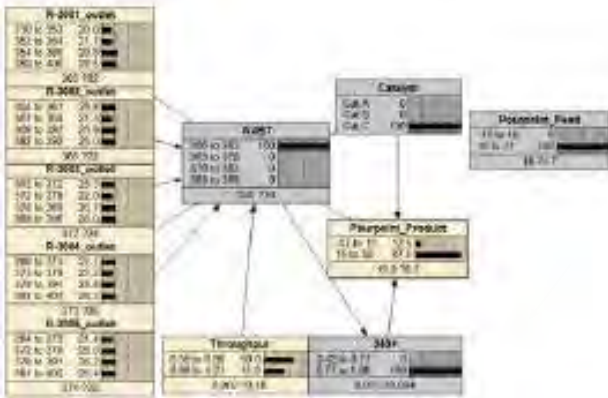
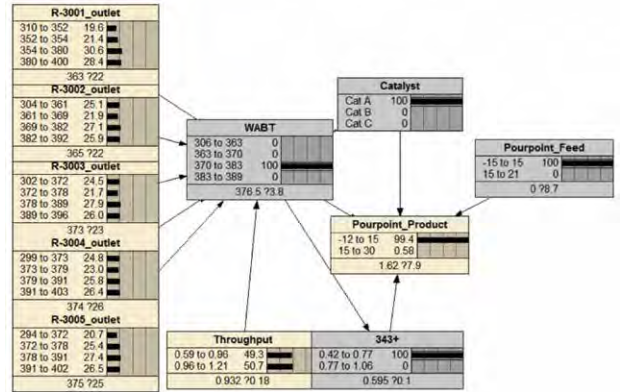


圖 3 以低度不合格流動點狀況所進行的影響分析



高媒床溫度降低客訴

本研究建立了低硫燃油流動點的 BN，用以解析造成高流動點的可能因素。該 BN 模型不僅能描述變數之間的因果關係，也能以條件機率量化出彼此的影響程度。透過貝氏網路的分析，研究發現：影響低硫燃油流動點以平均媒床溫度為最鉅，其次是觸媒特性。而較低的媒床溫

度、採用「Catalyst C」、較高之「Pourpoint_Feed」值以及「343+」值，最易導致高流動點的狀況，而影響油品。為降低油品客訴，宜確保較高的媒床溫度、採用「Catalyst A」及維持較低之「Pourpoint_Feed」值以及「343+」值。初步研究結果，提供後續深入分析之參考。

人事動態

姓名	原職位	新職位	生效日
施志昌	貿易處副處長	副總經理室督導幕僚室	108年4月1日
邱子文	天然氣事業部會計室主任	會計處副處長	108年4月1日
蔡博富	探採事業部企劃室副主任	探採事業部查德礦區專案辦公室副主任	108年4月1日
曾錫卿	探採事業部鑽探工程處副處長	探採事業部鑽探工程處處長	108年4月1日
林宏仁	探採事業部查德礦區專案辦公室副主任	探採事業部國外業務處處長	108年4月1日
郭同境	會計處轉投資及海外會計組組長	天然氣事業部會計室主任	108年4月1日
林忠義	天然氣事業部行銷室主任	天然氣事業部購運室主任	108年4月1日
張春隆	貿易處石油腦貿易發展組組長	貿易處副處長	108年4月16日
王文芳	檢核室總檢核	副總經理室督導幕僚室督導	108年4月18日
黃琬玲	財務處處長	檢核室總檢核	108年4月18日
張以文	油品行銷事業部台北營業處處長	油品行銷事業部副執行長	108年4月18日
張慧蘋	油品行銷事業部桃園營業處處長	油品行銷事業部台北營業處處長	108年4月18日
鄭文龍	油品行銷事業部台中營業處副處長	油品行銷事業部台中營業處處長	108年4月18日
張榮福	公共關係處副處長	油品行銷事業部桃園營業處處長	108年4月22日