

## 第二章 文獻回顧

共沸蒸餾於化工中已屬相當成熟的技術，此方面的文獻藏量相當豐沛。早期的研究較注重於蒸餾塔模擬模式的建立及數值解析的技巧。1980 年以後的研究方向，則將焦點轉移到異相共沸系統之動態行為探討方面，諸如塔內三相共存和多重穩態解(multiple steady-states)等問題。近幾年來則較偏重於控制策略對於動態行為之影響與控制策略之改善方面之探討。

整個蒸餾系統中所包含的變數相當廣泛且變數間多呈非線性的關係，欲以數學模式精確地來描述一個蒸餾塔之動態行為並非易事。有關蒸餾塔之動態模擬方面，於文獻中已有許多不同的模式。最早有 Huckaba et al. (1963, 1965) 與 Luyben et al. (1964) 提出兩相系統之模式。多成份系統的模擬方面有 Mah et al. (1962)、Waggoner and Holland (1965)、Distefano (1968a, b) 及 Howard (1970) 等人之研究。對於蒸餾的動態模擬研究方面較具代表性的有 Distefano (1968a)、Howard (1970)、Ballard and Brosilow (1978)及 Boston et al. (1981) 等人所提出的數學模式，其使用的積分方法，有 semi-implicit Runge-Kutta 法及 GEAR (1971) 法。對於 stiffness 的問題則以利用接近絕對穩定 (near-absolute-stable) 的方法。上述的這些數學模式，至今仍被廣泛

地應用著，亦成為日後的研究基礎；Prokopakis and Seider (1983b)更詳述這些學者所提出的模式，並利用 ASIRK (adaptive semi-implicit Runge-Kutta)的方法來解系統微分方程式。

相對於傳統蒸餾系統而言，異相共沸蒸餾系統具有相當複雜的行為。首先，異相共沸系統本身具有溫度及組成陡變的特性，亦即在蒸餾塔內有一至多段溫度及組成變化較為劇烈的區域，且此陡變區內的溫度與組成對於操作條件的改變具相當地敏感(Magnussen et al., 1979 及 Prokopakis et al., 1981)；諸如進出料流量、進料組成、塔頂回流分率、夾帶劑添加量及再沸器熱值等，只要其中有些微的變化，此區就會有劇烈的反應，特別是塔頂回流的大小。Shinskey (1984) 亦認為當回流量太大時，在接近塔頂的數板極可能會出現兩液相不相溶的情形，即所謂的 VLLE (vapor-liquid-liquid equilibrium)現象發現。而面對這種液相分離的情形，Kovach and Seider (1987b) 利用 homotopy-continuation 方法計算異相共沸蒸餾系統中液液兩相分離的情形，並探討將系統中塔頂的回流比做極小變化時的系統應答，其結果顯示塔內有百分之七十的板可能會出現兩液相的情形。另外，為了避免塔內造成分相情形，Prokopakis and Seider (1983a)，在乙醇-苯-水系統設定出一組操作條件，使操作僅在冷凝器和分相器處考慮液相分相 此結果由後來的 Wong et al. (1991) 及 Kovach and Seider (1987b)

所改進,他們以與 Prokopakis and Seider (1983a) 相同的操作條件下進行模擬與實驗,發現在相同條件下塔內出現分相行為;所以他們認為在動態模擬時平衡板亦需考慮液相分相,即 VLLE 的計算。

異相共沸蒸餾的另一特性是具有多重穩態的現象。Magnussen et al. (1979)、Prokopakis et al. (1981)、Prokopakis and Seider (1983a, b) 及 Kovach et al. (1987a) 均證實在不同條件下有完全不同的靜態解出現。另一方面,異丙醇-環己烷-水系統之多重穩態解現象已先後由德國 Bayer AG (Muller et al., 1997) 及工研院化工所(Wang et al, 1998) 以實驗證明。Wang et al. (1998) 探討在不同回流下多重穩態的現象差別,發現低回流下塔底異丙醇純度較高的穩態溫度分佈與高回流下塔底異丙醇純度較高的穩態溫度分佈相異,且高回流與低回流間有一分叉點,稱之為臨界回流 (critical reflux)。此現象已在工研院化工所實驗室證實。此外,異相共沸蒸餾系統通常具有長時間變動及非線性的動態行為出現,這些現象皆說明異相共沸蒸餾系統本身所具有的複雜性。

先前大部分有關異相共沸蒸餾的文獻,探討的主題總在製程設計、模擬模式的建立與系統特性方面。對於控制策略領域方面的探討,直到近幾年才有較多的文獻被提出,但大部份的文獻都是針對單獨共沸塔做控制策略探討,只有少部份文獻針對雙塔(即共沸塔與回

收塔)做控制策略之探討。另一方面，異相共沸蒸餾本身所具有的複雜動態行為;因此控制策略的建立會更加困難。早期的乙醇-醚-水系統方面有 Bozenhardt (1988) 自工廠經驗歸納所發展出的兩套控制策略：(1)以塔內兩點的平均溫度做回饋(feedback)控制並搭配進料量的前饋(feedforward)動作來控制塔底再沸器的熱源供應；(2)延伸前一種控制策略，但改取塔內多點的平均溫度取代雙點平均溫度做為控制變數，多加塔頂出料之操作變數，該出料流量由進料的前饋控制與塔內旁流(side stream)組成回饋來決定。除此之外，大部分有關共沸蒸餾塔控制方面的文獻，也都廣泛地應用前饋控制的策略。Rovaglio et al. (1993) 認為共沸塔中夾帶劑的存量對異相共沸塔的動態影響甚劇而建議將共沸劑添加量做增減的動作以配合前饋控制器的動作。由以上文獻可得知塔底再沸器熱值的控制因素，包括有進料量、夾帶劑添加量及塔內某點的溫度等。Rovaglio et al., (1995) 利用回收大量夾帶劑的方式，將異相共沸蒸餾系統操作在 UTL (upper tie line) 的範圍內，以增加系統的可操作性 (operability)。在異丙醇-環己烷-水的系統上，Wang et al. (1998) 發現在固定回流下，再沸量增加會使塔底異丙醇純度增加，但再沸量超過一數值後，異丙醇純度會忽然大幅下降，此時若減少再沸量，塔底異丙醇純度亦無法恢復原來的數值。Chien et al. (1999) 沿續了 Wang et al. (1998) 的研究並利用動態模擬進行分析。

Chien et al. (1999) 認為，為了獲得高純度異丙醇需固定共沸塔內兩段溫度陡變區位置。經開環測試後他們發現回流對塔頂之溫度陡變區移動是沒有影響的，進而提出以交叉雙環路控制的方式，來固定塔內兩段陡變區的位置。由於在單塔操作中常有操縱變數互相干擾的現象，Chien et al. (2000) 進一步發展地去耦合(de-couple)的控制方式。經電腦模擬結果發現，此去耦合之控制方式在交叉雙環控制上可以改善進料流量與進料水組成所引起的干擾之執行效益。Chien et al. (2004) 對雙塔異相共沸蒸餾系統提出一個有別於傳統的控制策略；其使用三組溫度控制迴圈，兩組溫度控制迴圈被使用於共沸塔上，而在回收塔使用一組溫度控制迴圈。Chien et al. (2004)再經由改變進料組成和進料流量來做動態測試，其改變對兩根塔的塔底產物組成沒太大的影響。Luyben (2006) 提出一個 counter-intuitive 控制架構，分相器的水相液位藉由分相器的水相出口流量來控制，其是以 reverse action 來決定液位有別於傳統的 directing action 來控制液位。