
離子交換樹脂的 性能測試

南亞公司化工三部

一、前言

工業用水之淨化處理有氣曝、過濾、凝集、活性炭處理、離子交換處理、脫氣、藥品添加、蒸餾等多種方法，其中處理效果最大且最受重視及最常用者乃離子交換處理，以此處理技術為中心，並於前後附加其他的處理，此乃最近處理方式的趨勢。

例如：火力發電廠的鍋爐給水，以往端賴蒸餾器，而最近之發電廠乃利用離子交換處理之製造純水裝置進行給水處理，在今日離子交換處理乃火力發電廠不可欠缺的水處理方法。

離子交換樹脂可用於火力發電廠、電子工業、一般化學工業、石油、製鐵、製糖、研究機構…等，其應用範圍極廣，約佔水處理方法的 70%，而處理水質可由 ppm(100 萬分之一) 至 ppb(十億分之一) 單位之超純水。

離子交換樹脂依其性質分類如下：

1. 陽離子交換樹脂：
 - (1) 強酸性陽離子交換樹脂
 - (2) 弱酸性陽離子交換樹脂

-
2. 陰離子交換樹脂：
 - (1) 強鹼性陰離子交換樹脂
 - (2) 弱鹼性陰離子交換樹脂

二、摘要

1. 本廠為確保製程循環水處理設備 (U-550) 之處理效能及穩定性，擬訂定離子交換樹脂性能分析作業規範。
2. 性能測試可瞭解樹脂是否受有機物污染而造成總交換能力衰退，並作為樹脂更新請購時程之判定依據。
3. 樹脂性能分析項目：
 - (1) 顆粒。
 - (2) 密度。
 - (3) 含水率。
 - (4) 總交換容量。
4. 影響操作效能之判定依據，可由樹脂總交換容量及含水率分析值得知：
 - (1) 若總交換容量及含水率降低，則樹脂已遭受有機物污染。
 - (2) 若含水率升高，則樹脂已被氧化性物質氧化，致樹脂發生膨潤現象，如處理水含環氧乙烷 (EO) 或氯 (Cl₂)。

三、樹脂性能分析說明

1. 離子交換樹脂性能指標：
 - (1) 總交換容量：

測量每個單位體積之交換樹脂可以交換的離子量，以當量 / 升 (eq/Lt) 表示。

(2) 含水率：

一般含水率會和樹脂的交聯度 (即架橋劑—樹脂製造過程中添加物，做為離子交換介面活性劑) 有關係，交聯度越高則含水率越低，反之，交聯度越低則含水率越高。

2. 樹脂性能管制值設定：

樹脂性能 分析項目	強酸陽離子 樹脂 (A-11)	強鹼陰離子 樹脂 (A-12)	弱鹼陰離子 樹脂 (A-13)
總交換容量 (eq/Lt)	≥ 1.7	≥ 1.0	≥ 1.3
樹脂交換容量 (eq/Lt)	≥ 1.36	≥ 0.8	≥ 1.04
含水率 (%)	52 ~ 57	58 ~ 64	52 ~ 62

(註) A11, A12, A13 為便利本文說明而自編之編號，非商品型號。

3. 總交換容量設定值及含水率說明：

(1) 總交換容量衰退率 ≥ 20% (樹脂官能團脫落及結構受破壞)，會影響樹脂操作容量，如再生頻率增加及處理水產能降低。

(註) 衰退率：使用中離子交換容量降低之比例。

(2) 含水率 > 管制值：樹脂交聯度低，交換容量低。

(3) 含水率 < 管制值：樹脂受有機物污染，水無法完全滲入進行離子交換。

4. 訂定樹脂總交換容量及含水率檢驗規範，明細如下：

- (1) 強鹼性陰離子樹脂容量分析。
- (2) 弱鹼性陰離子樹脂容量分析。
- (3) 強酸性陽離子樹脂容量分析。
- (4) 弱酸性陽離子樹脂容量分析。

(5) 中鹼性陰離子樹脂容量分析。

(6) 樹脂含水率分析。

四、樹脂交換容量分析檢驗規範

1. 強鹼性陰離子樹脂交換容量分析：

(1) 原理：

樹脂的總交換容量，即為樹脂內可進行離子交換的功能基，其測定方法為將已經前處理的樹脂以過量的鹼（對陰離子樹脂）再生，將陰離子樹脂完全轉化成 OH 型，再分別加入過剩的標準酸（對 OH 型樹脂），然後滴定其過剩的酸，即可分別求得總交換容量。

(2) 取樣：

取約 100ml 的樹脂放在燒杯並用純水浸泡超過 12 小時。

(3) 樹脂轉型前處理：

(a) 將樣品放到測試管柱並用純水反洗到出水變無色為止。

(b) 用 10BV(1000ml) 的 2% NaOH 再生，使用流速 12SV(12BV/hr)。

(註1) SV: Specific Volume(特定流量，指樹脂量 ÷ 流量)
為美國地區用語。

(註2) BV: Bed Volume 為歐洲、德國地區用語。

(註3) SV 及 BV 用語意義相同。

(c) 用 20BV(2000ml) 的純水水洗，使用流速 12SV(12BV/hr)。

(d) 用 20BV(2000ml) 的 1% HCl 轉換成 Cl^- 型，使用流速 12SV(12BV/hr)。

(e) 用純水水洗，使用流速 12SV(12BV/hr)，洗到出水的 pH 值大於 4.3。

(4) 再生：

- (a) 從樣品中精準的取出 50ml，用敲緊的方式。
- (b) 將樣品放到測試管柱。
- (c) 用 10BV(500ml) 的 2% NaOH 再生，使用流速 12SV(12BV/hr)。
- (d) 用純水水洗，使用流速 12SV(12BV/hr)，洗到出水的 pH 值小於 8.2。

(5) 中性鹽分解容量 (Salt Splitting Capacity, SSC)：

- (a) 使用 950ml 的 2.5% NaCl 通過樹脂，使用流速 6SV(6BV/hr)，並用 1000ml 量瓶收集出水。
- (b) 用純水加到量瓶至 1000ml。
- (c) 取 10ml 量瓶中的水，加入甲基橙指示劑後用 0.1N HCl 滴定。

SSC(Salt Splitting Capacity) 計算方式：

$$\text{SSC}(\text{eq/l-R}) = 0.1 \times a \times f \times 1000 / (10 \times 50)。$$

a：0.1N HCl 所滴定的體積 (ml)。

f：實際 0.1N HCl 的莫耳數 (N)。

(6) 強鹼能力測量 (Strong Base Capacity, SBC)：

- (a) 取經過 SSC 測試過後的樹脂來做 SBC 測試。
- (b) 用 1000ml 純水水洗，使用流速 12SV(12BV/hr)。
- (c) 使用 950ml 2.5% NaNO₃ 通過樹脂，使用流速 6SV(6BV/hr) 並用 1000ml 的量瓶收集水。
- (d) 用純水加到量瓶至 1000ml。
- (e) 取 5ml 量瓶中的水，用 0.1N AgNO₃ 滴定，使用自動滴定儀器。

SBC 計算方式：

$$\text{SBC}(\text{eq/l-R}) = 0.1 \times a \times f \times 1000 / (5 \times 50)$$

a : 0.1N AgNO₃ 所滴定的體積 (ml)。

f : 實際 0.1N AgNO₃ 的莫耳數 (N)。

(7) 弱鹼能力測量 (Weak Base Capacity, WBC) :

(a) 取經過 SBC 測試過後的樹脂來做 WBC 測試。

(b) 用 1000ml 純水水洗，使用流速 24SV(24BV/hr)。

(c) 使用 600ml 0.1N HCl 通過樹脂，使用流速 18SV(18BV/hr)，再用 150ml 的純水水洗，然後用 200ml 甲醇通過。

(d) 用 1000ml 量瓶收集出水。

(e) 用純水加到量瓶至 1000ml。

(f) 取 50ml 量瓶中的水，加入甲基橙指示劑後用 0.1N NaOH 滴定。

WBC 計算方式：

$$\text{WBC}(\text{eq/l-R}) = (60 \times f1 - 0.1 \times a \times f2 \times 1000 / 50) / 50。$$

a : 0.1N NaOH 所滴定的體積 (ml)。

f1 : 實際 0.1N HCl 的莫耳數 (N)。

f2 : 實際 0.1N NaOH 的莫耳數 (N)。

$$\text{Total Capacity}(\text{eq/l-R}) = \text{SBC} + \text{WBC}。$$

2. 弱鹼性陰離子樹脂交換容量分析：

(1) 弱鹼樹脂功能基：適用三級氨。

(2) 取樣：

取約 100ml 的樹脂放在燒杯並用純水浸泡超過 12 小時。

(3) Conditioning 樹脂轉型前處理：

(a) 將樣品放到測試管柱並用純水反洗到出水變無色為止。

(b) 用 10BV(1000ml) 的 2% NaOH 再生，使用流速 12SV(12BV/hr)。

(c) 用 20BV(2000ml) 的純水水洗，使用流速 12SV(12BV/hr)。

(4) Total Capacity (TC) measurement 總交換容量測試：

(a) 從樣品中精準的取出 50ml，用敲緊的方式。

(b) 把樣品放置 200ml 燒杯中。

(c) 加 100ml 0.1N HCl 至燒杯中。

(d) 攪拌 30 分鐘後，用純水將燒杯內所有的樹脂輸送至測試管柱。

(e) 使用 100ml 0.1N HCl 通過樹脂，使用流速 6SV(6BV/hr)，再用 200ml methanol 洗，使用流速 6SV(6BV/hr)：

- 用 500ml 量瓶收集出水。

- 用純水加到量瓶至 500ml。

- 取 50ml 量瓶中的水，加入甲基橙指示劑後用 0.1N NaOH 滴定。

(5) TC 總交換容量計算方式：

$$TC(\text{eq/l-R}) = (200 \times f1 - a \times f2 \times 500 / 50) / 50$$

a : 0.1N NaOH 所滴定的體積 (ml)。

f1 : 實際 0.1N HCl 的莫耳數 (N)。

f2 : 實際 0.1N NaOH 的莫耳數 (N)。

3. 強酸性陽離子樹脂交換容量分析：

(1) 原理：

樹脂的總交換容量，即為樹脂內可進行離子交換的功能基，其測定方法為將已經前處理的樹脂以過量的酸（對陽離子樹脂）再生，將陽離子樹脂完全轉化成氫型，再分別加入過剩的標準鹼（對氫型樹脂），然後滴定其過剩的鹼，即可分別求得總交換容量。

(2) 取樣：

取約 100ml 的樹脂放在燒杯，並用純水浸泡超過 12 小時。

(3) Conditioning 樹脂轉型前處理：

(a) 將樣品放到測試管柱並用純水反洗到出水變無色為止。

(b) 用 6BV(600ml) 的 15% HCl 再生，使用流速 6SV(6BV/hr)。

(c) 用純水水洗直到出水 pH 值大於 4.3，使用流速 12SV(12BV/hr)。

(d) 用 10BV(1000ml) 的 10% NaCl 轉換成 Na 型，使用流速 6SV(6BV/hr)。

(e) 用 10BV(1000ml) 的純水水洗，使用流速 12SV(12BV/hr)。

(4) 再生：

(a) 從樣品中精準的取出 50ml，用敲緊的方式。

(b) 將樣品放到測試管柱。

(c) 用 6BV(300ml) 的 15% HCl 再生，使用流速 6SV(6BV/hr)。

(d) 用純水水洗，使用流速 12SV(12BV/hr)，洗到出水的 pH 值大於 4.3。

(e) Salt Splitting Capacity (SSC) measurement 中性鹽分解容量測試：

- 使用 950ml 的 2.5% NaCl 通過樹脂，使用流速 6SV(6BV/hr)，並用 1000ml 的量瓶收集出水。
- 用純水加到量瓶至 1000ml。
- 取 10ml 量瓶中的水，加入甲基橙指示劑後用 0.1N NaOH 滴定。

SSC 計算方式：

$$\text{SSC}(\text{eq/l-R}) = 0.1 \times a \times f \times 1000 / (10 \times 50)$$

a：0.1N NaOH 所滴定的體積 (ml)。

f：實際 0.1N NaOH 的莫耳數 (N)。

(5) 弱酸能力的測量 (Weak Acid Capacity (WAC) measurement)：

(a) 取經過 SSC 測試過後的樹脂來做 WAC 的測試。

(b) 把樣品放置 200ml 的燒杯中。

(c) 加 100ml 的 0.1N NaOH 至燒杯中。

(d) 攪拌 30 分鐘後，用純水將燒杯內所有的樹脂輸送至測試管柱。

(e) 使用 500ml 的 0.1N NaOH 通過樹脂，使用流速 6SV(6BV/hr)，再用 200ml 的純水水洗。

(f) 用 1000ml 的量瓶收集出水。

- 用純水加到量瓶至 1000ml。

- 取 50ml 量瓶中的水，加入甲基橙指示劑後用 0.1N HCl 滴定。

WAC 計算方式：

$$\text{WAC}(\text{eq/l-R}) = (60 \times f_1 - 0.1 \times a \times f_2 \times 1000 / 50) / 50$$

a : 0.1N HCl 所滴定的體積 (ml)。

f1 : 實際 0.1N NaOH 的莫耳數 (N)。

f2 : 實際 0.1N HCl 的莫耳數 (N)。

$$\text{Total Capacity} (\text{eq/l-R}) = \text{SSC} + \text{WAC}$$

4. 弱酸性陽離子樹脂交換容量分析：

(1) 取樣：

取約 100ml 的樹脂放在燒杯並用純水浸泡超過 12 時。

(2) 樹脂轉型前處理：

(a) 將樣品放到測試管柱並用純水反洗到出水變無色為止。

(b) 用 6BV(600ml) 的 6% HCl 再生，使用流速 6SV(6BV/hr)。

(c) 用純水水洗直到出水 pH 值大於 4.3，使用流速 12SV(12BV/hr)。

(3) 總交換容量測試 (Total Capacity (TC) measurement)：

(a) 從樣品中精準的取出 50ml，用敲緊的方式。

(b) 把樣品放置 200ml 的燒杯中。

(c) 加 100ml 的 0.1N NaOH 至燒杯中。

(d) 攪拌 30 分鐘後，用純水將燒杯內所有的樹脂輸送至測試管柱。

(e) 使用 500ml 的 0.1N NaOH 通過樹脂，使用流速 6SV(6BV/hr)，再用 200ml 的純水水洗。

(f) 用 1000ml 的量瓶收集出水。

(g) 用純水加到量瓶至 1000ml。

(h) 取 50ml 量瓶中的水，加入甲基橙指示劑後用 0.1N HCl 滴定。

TC 計算方式：

$$TC(\text{eq/l-R}) = (500 \times f1 - a \times f2 \times 1000 / 50) / 50$$

a : 0.1N HCl 所滴定的體積 (ml)。

f1 : 實際 0.1N NaOH 的莫耳數 (N)。

f2 : 實際 0.1N HCl 的莫耳數 (N)。

5. 中鹼性陰離子樹脂交換容量分析：

(1) 弱鹼樹脂功能基：適用三級氨 (含部份四級氨)。

(2) 取樣：

取約 100ml 的樹脂放在燒杯並用純水浸泡超過 12 小時。

(3) Conditioning 樹脂轉型前處理：

(a) 將樣品放到測試管柱並用純水反洗到出水變無色為止。

(b) 用 10BV(1000ml) 的 2% NaOH 再生，使用流速 12SV(12BV/hr)，再用純水水洗使用流速 12SV(12BV/hr)，洗到出水的 pH 值小於 8.2。

(c) 用 10BV(1000ml) 的 2.5% NaCl 轉換成 OH/Cl 型，使用流速 6SV(6BV/hr)。

(d) 用 10BV(1000ml) 的純水水洗，使用流速 12SV(12BV/hr)。

(4) 再生：

(a) 從樣品中精準的取出 50ml，用敲緊的方式。

(b) 將樣品放到測試管柱。

(c) 用 10BV(500ml) 的 2% NaOH 再生，使用流速 12SV(12BV/hr)。

(d) 用純水水洗，使用流速 12SV(12BV/hr)，洗到出水的 pH 值小於 8.2。

(5) 中性鹽分解容量測試 (Salt Splitting Capacity (SSC) measurement) :

(a) 使用 950ml 的 2.5% NaCl 通過樹脂，使用流速 6SV(6BV/hr), 並用 1000ml 的量瓶收集出水。

(b) 用純水加到量瓶至 1000ml。

(c) 取 50ml 量瓶中的水，加入甲基橙指示劑後用 0.1N HCl 滴定。

SSC 計算方式

$$\text{SSC}(\text{eq/l-R}) = 0.1 \times a \times f \times 1000 / (50 \times 50)$$

a : 0.1N HCl 所滴定的體積 (ml)。

f : 實際 0.1N HCl 的莫耳數 (N)。

(6) 強鹼能力測量 (Strong Base Capacity (SBC) measurement) :

(a) 取經過 SSC 測試過後的樹脂來做 SBC 的測試。

(b) 用 1000ml 的純水水洗，使用流速 12SV(12BV/hr)。

(c) 使用 950ml 的 2.5% NaNO₃ 通過樹脂，使用流速 6SV(6BV/hr)，並用 1000ml 的量瓶收集出水。

(d) 用純水加到量瓶至 1000ml。

(e) 取 5ml 量瓶中的水，用 0.1N AgNO₃ 滴定，使用自動滴定的儀器。

SBC 計算方式：

$$\text{SBC}(\text{eq/l-R}) = 0.1 \times a \times f \times 1000 / (5 \times 50)$$

a : 0.1N AgNO₃ 所滴定的體積 (ml)。

f : 實際 0.1N AgNO₃ 的莫耳數 (N)。

(7) 弱鹼能力測量 (Weak Base Capacity (WBC) measurement) :

- (a) 取經過 SBC 測試過後的樹脂來做 WBC 的測試。
- (b) 用 1000ml 的純水水洗，使用流速 24SV(24BV/hr)。
- (c) 把樣品放置 200ml 的燒杯中。
- (d) 加 100ml 的 0.1N HCl 至燒杯中。
- (e) 攪拌 30 分鐘後，用純水將燒杯內所有的樹脂輸送至測試管柱。
- (f) 使用 100ml 的 0.1N HCl 通過樹脂，使用流速 6SV(6BV/hr), 再用 200ml 的 methanol 洗，使用流速 6SV(6BV/hr)。
- (g) 用 500ml 的量瓶收集出水。
- (h) 用純水加到量瓶至 500ml。
- (i) 取 50ml 量瓶中的水，加入甲基橙指示劑後用 0.1N NaOH 滴定。

WBC 計算方式：

$$\text{WBC}(\text{eq/l-R}) = (200 \times f1 - a \times f2 \times 500 / 50) / 50$$

a : 0.1N NaOH 所滴定的體積 (ml)。

f1 : 實際 0.1N HCl 的莫耳數 (N)。

f2 : 實際 0.1N NaOH 的莫耳數 (N)。

$$\text{Total Capacity}(\text{eq/l-R}) = \text{SBC} + \text{WBC}$$

6. 樹脂含水率分析：

(1) 原理：

離子交換樹脂在規定的條件下與水達到平衡，然後將樹脂放在烘箱中測定其含水量。

-
- (2) 取約 200ml 的樹脂放在燒杯並用純水浸泡超過 12 小時讓樹脂充分濕潤。
 - (3) 將樹脂放到離心機用轉速 3000rpm 轉 5 分鐘，將樹脂的水分離心掉。
 - (4) 精準的取 100g 充分濕潤的樹脂 (步驟 4) 。
 - (5) 用真空烘箱乾燥樹脂 12 小時 (或超過) 在 105°C / 低於 10mmHg 。
 - (6) 將乾燥後的樹脂放在乾燥器中冷卻 30 分鐘。
 - (7) 精準的秤重乾燥冷卻後的樹脂 (步驟 7) 。

含水率計算公式：

$$\text{含水率 (\%)} = \frac{\text{步驟 4 的重量} - \text{步驟 7 的重量}}{\text{步驟 4 的重量}} \times 100\%$$

五、樹脂的性能測試應用於乙二醇廠製程改善之成果

1. 乙二醇廠製程不同於一般水處理設備，僅處理水中離子如陽離子：鈣、鎂、鈉，陰離子如：氯鹽、硫酸根、鹼度、二氧化矽，規劃設計及運用相關樹脂交換容量可由樹脂供應商或專業水處理廠商提供資料參考。
2. 乙二醇製程因製程離子型態之差異，如水中離子：甲酸、乙酸、甲醛、乙醛及低 pH 值，於規劃設計及運轉受資訊及技術之缺乏，致須完全利用樹脂的性能測試，尋求最佳之可靠技術資源完成製程之設計及改善，樹脂的性能測試雖是化驗室分析工作一小步，卻是製程改善一大步，本廠自 88 年投產至今已完成下列改善案：
 - (1) 乙二醇製程水中甲酸、乙酸之去除方法及其所用的裝置，於 90 年取得中華民國、中華人民共和國、美國

等 20 年發明專利。

- (2)97 ~ 99 年完成本廠各套循環水除醛改善，製程水總醛去除率由原 75% 提升至 98% 以上。
- (3)100 年完成離子交換樹脂對抗品開發，供應商由一家增列為二家，可購買適質、適價之離子交換樹脂，以提高產品品質及降低樹脂購置成本。
- (4) 強鹼性陰離子樹脂與甲醛、乙醛等有機物離子交換，因有機物污染致樹脂吸附容量降低，本廠採用鹼性氯化鈉去除有機物： $2\% \text{NaOH} + 10\% \text{NaCl}$ 浸泡、洗滌、洗淨，恢復樹脂交換容量。

六、結論

離子交換樹脂性能的指標有外觀、粒徑分布、含水率、比重、膨脹率、交換容量等；這些性能指標與離子交換樹脂的應用有密切的關係。

離子交換樹脂主要應用於水質淨化處理，但其他應用也正快速發展，例如濕式冶金、金屬冶煉，糖類精製、食品加工、化工生產、化學及生物製備、環境保護、醫藥生技、分析化學、科學探索等諸多領域，使用者依照這些標準就可以清楚知道樹脂的品質，進而選擇適用之離子交換樹脂，以發揮其最大之功效。