

第四章 結果與討論

研究不同管長(d_f)、流速(U)、電雙層參數(N_{DL})以及膠體粒子具有布朗運動與擴散泳現象時，於楔型管收集器中吸附效率的探討。最後，第五章利用電腦模擬的結果與經驗式進行比較，驗證此模擬理論的可靠性。

4-1 實驗參數

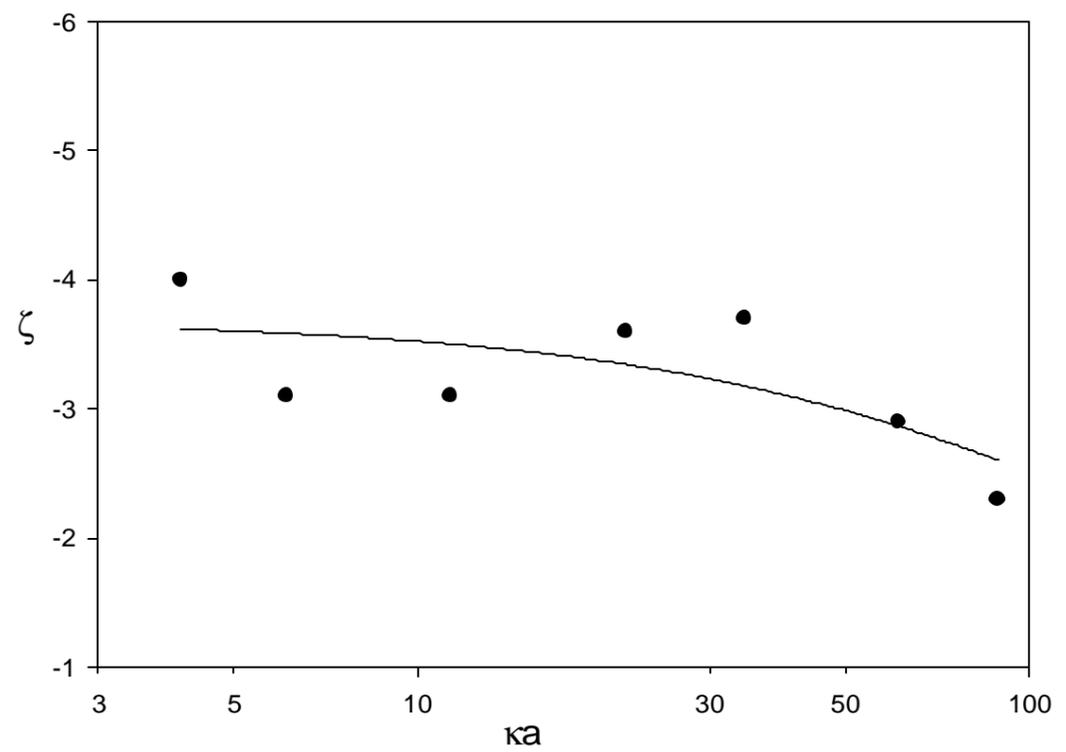
探討膠體粒子受到在不同的吸附機制對其吸附效率所造成的影響。本模擬在改變管長(d_f)、流速(U)、電雙層參數(N_{DL})的情況下，分析膠體粒子在接近收集器表面時所受到的各種作用力來探討對其吸附效率的影響。表 4-1 是本模擬過程所需要用到的參數值。

本模擬主要使用的過濾床為玻璃床，收集器為 PCT 幾何形狀的楔型管，其孔隙度為 0.39，流體的黏度為 1cp，膠體粒子的濃度為 1000ppm，並假設膠體粒子的密度與流體密度相同，故可忽略因重力效應所引起的吸附效應影響。管長($d_f=10、20、30 \mu m$)、流速($U=0.01、0.03、0.05 \text{ cm/s}$)、電雙層參數($N_{DL}=60、70、80、90$)，其中擴散泳速度值(U_b)，是根據 Anderson et al.在 1987 年所發表的實驗結果來計算(U_b) 值。我們採取 NaCl 電解質溶液為本模擬的溶

液，圖 4-1 為電雙層參數(κa)與粒子表面電位(ψ_0)之關係圖。藉由電雙層理論我們將可以解釋此實驗圖線性回歸的結果；在固定粒徑下，當 κa 值增加時所隱含的物理意義為電解質濃度增加，電雙層厚度(λ_D^{-1})隨即被壓縮，直接降低膠體粒子表面電位；而電解質溶液中的濃度梯度隨 κa 值逐漸增大也持續增加。由此圖中不同電雙層參數值 ($N_{DL}=60, 70, 80, 90$)分別讀取粒子的表面電位(ψ_0)後代回(2.26 式)，可得到擴散泳速度項 U_0 。其中假設收集器表面電位為常數($\psi_c = -1.83$)；離子擴散係數(D)為-0.02。

parameters	value
∇C_{∞}	$1 \times 10^{-3} \text{ mol/cm}^4$
C_{in}	1000 ppm
d_f	10~30 mm
d_p	0.114 mm
k_B	$1.38 \times 10^{-16} \text{ erg/K}$
S_{wi}	0.111
T	293 K
U	0.01~0.05 cm/sec
e	0.39
m	1 cp
r_f	1 g/cm^3
r_p	1 g/cm^3

表(4-1) 模擬參數值表

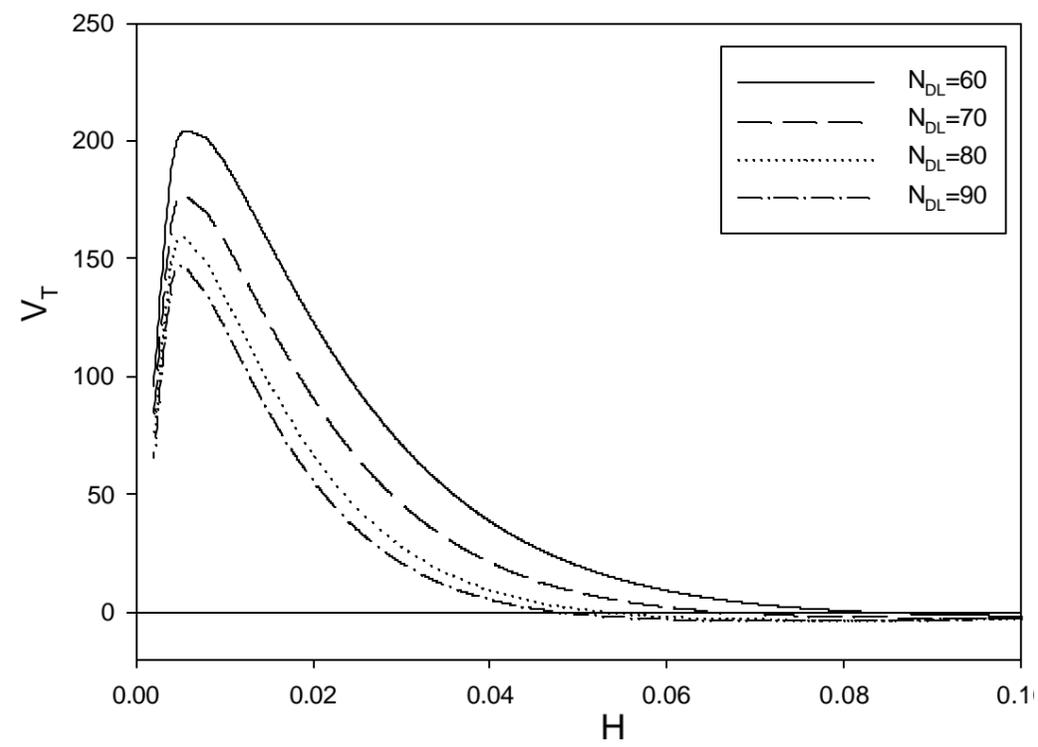


圖(4-1) 電雙層參數 ka 與膠體粒子表面電 之關係圖(Anderson et al. , 1988^[7])。

4-1.1 DLVO 理論能障影響的探討

探討在不同 DLVO 理論的能障下，膠體粒子接近楔型管時所受到的作用力對其吸附效率的影響，其中 DLVO 理論能障的基本物理意義已經於(2-2)節中提過。圖(4-2)為討論 DLVO 理論能障在不同電雙層的影響下，各曲線能障值與距離之間的關係。

圖(4-2)為固定 $d_p=0.114\ \mu\text{m}$ 的條件下，隨著電雙層參數(N_{DL})的增加，說明在電雙層厚度不斷的被壓縮變薄時，DLVO 能障也隨之降低，也就是說粒子之間交互作用力將降低，使膠體粒子更容易吸附於收集器的表面。另一方面，由此圖可得知本模擬的 DLVO 內部作用力都僅只具備 primary maximum 能障，換言之本模擬的 DLVO 內部作用力中的電荷排斥力極為明顯。



圖(4-2) DLVO 理論能障 V_T 與 H 之關係圖。

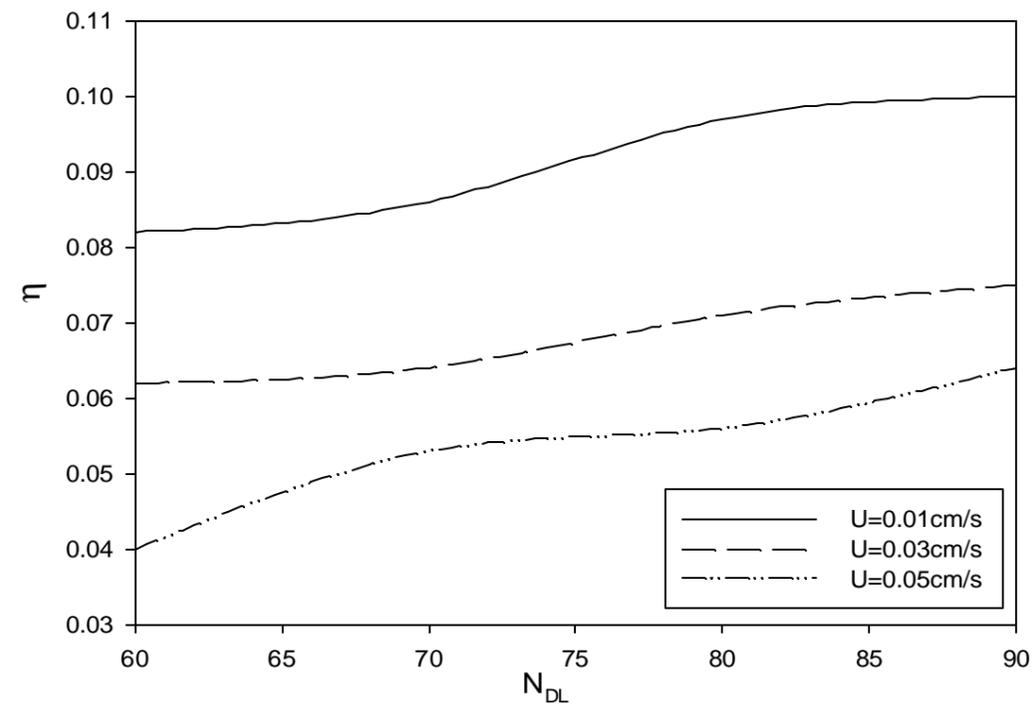
圖(4-2) DLVO 理論能障 V_T 與 H 之關係圖。

4-2 DLVO 理論能障對具有擴散泳現象的膠體的吸附效率影響

膠體粒子在收集器中的吸附與輸送現象，在受到許多的作用力影響之下，呈現不同的吸附行為。本節考慮具布朗運動現象的膠體粒子，在受到 DLVO 理論能障、流速、擴散泳現象的影響下，判斷其吸附效率的變化情形。在此討論電解質濃度由低到高變化時，也就是說膠體粒子與收集器之間的 DLVO 理論能障由高至低遞減的影響。並探討流體流速由低到高變化時，膠體粒子受到的拖曳力由低到高時對其吸附效率的影響。

4-2.1 不具有擴散泳現象的膠體粒子吸附效率

圖(4-3)為固定管長下($d_f=20\ \mu\text{m}$)， N_{DL} 與吸附效率 之關係圖。在此情況下，膠體粒子的吸附主要受到布朗運動、DLVO 能障理論、拖曳力互相競爭的影響。圖中可分為兩大類進行探討：一為固定流速時，隨著電雙層參數(N_{DL})越大吸附效率 越好，我們可以由式(2.22c)知，增加 N_{DL} 即是減少電雙層的厚度。減少電雙層厚度，即代表電荷斥力會減小，故收集效率會隨著 N_{DL} 的增加而增加。其 DLVO 能障變化可見於圖(4-2)。二為固定電雙層參數(N_{DL})時，隨著流速的增加布朗運動效應相對變的較弱，膠體粒子容易被流體導入楔型管的深處，並隨著流體脫離楔型管，因而降低膠體粒子在收集器中的吸附效率。



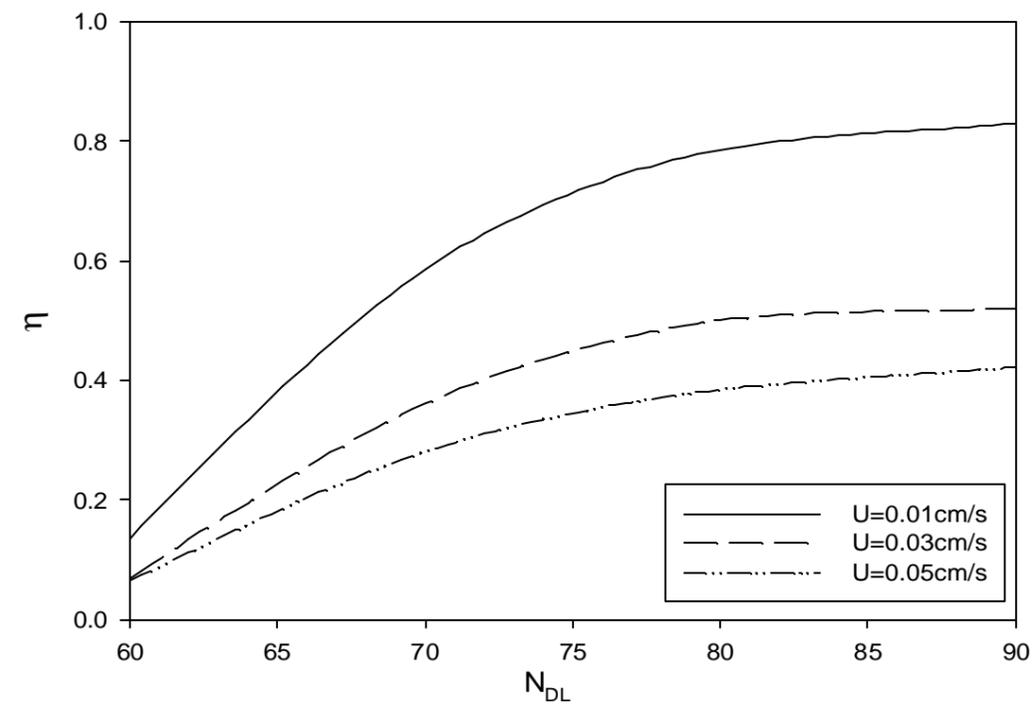
圖(4-3) 不考慮擴散泳情況下，電雙層參數(N_{DL})與吸附效率之關係圖。

4-2.2 具有擴散泳現象的膠體粒子吸附效率

當考慮擴散泳速度項的膠體粒子於楔行管中的吸附行為時，我們所探討的膠體粒子於楔行管中所受到的力分別有布朗運動、拖曳力、DLVO 能障理論、擴散泳。理論上，擴散泳現象會使得膠體粒子因溶質濃度的梯度差而產生一股往楔型管表面吸附的擴散泳作用力，因而增加膠體粒子在徑方向的速度項，所以在比較圖(4-3) 不考慮擴散泳時和圖(4-4)考慮擴散泳時的 N_{DL} 與吸附效率 圖，可知道考慮擴散泳時的吸附效率較大。證明本模擬考慮擴散泳時的吸附結果和理論相符合。

圖(4-4)為固定管長下 ($d_f=20 \mu m$)，考慮膠體的擴散泳速度項時 N_{DL} 與吸附效率 之關係圖。同樣的，此圖可分為兩大類進行探討：一為固定流速時，隨著電雙層參數 (N_{DL}) 逐漸增大吸附效率 持續增加。當 a 增加時，所隱含的物理意義為電解質濃度增加，電解質溶液中的濃度梯度增加，造成膠體的電泳速度隨 a 逐漸增加而增加。另一方面，我們可以由式(2.22c)知，增加 N_{DL} 即是減少電雙層的厚度。減少電雙層厚度，即代表電荷斥力會減小，故收集效率會有隨 N_{DL} 增加而增加的趨勢。其 DLVO 能障變化可見於圖(4-2)。二為固定電雙層參數 (N_{DL}) 時，可以發現在流速較低的情況下，擴散泳現象會使得膠體粒子因溶質濃度梯度差而產生一股往楔型管表面吸附的擴散泳作用

力，因而增加膠體粒子在徑方向的速度項，此現象造成膠體的泳動足以克服 DLVO 理論能障所引起的排斥效應。當流速增加時，膠體粒子所受到流體的慣性力會隨著增加，相對的，其所受到擴散泳的效應也會下降，因此膠體粒子容易被流體導入楔型管的深處，並隨流體的慣性力而脫離楔型管，因而降低膠體粒子在收集器中的吸附效率。



圖(4-4) 考慮擴散泳情況下，電雙層參數(N_{DL})與吸附效率 之關係圖。

4-3 管長與擴散泳現象對膠體吸附效率的影響

我們所模擬膠體粒子在收集器中的吸附與輸送現象，主要考慮的作用力包含布朗運動、拖曳力、DLVO 能障理論和擴散泳，它們對吸附效率的影響在前節中我們已做詳盡的探討。本節將在固定此四種作用力時進行模擬，它們的參數設定分別為 $U=0.01\text{cm/s}$ 、 $d_p=0.114\text{um}$ 、電雙層參數值 $N_{DL}=70$ ，而改變管長變化，判斷其吸附效率的變化情形。

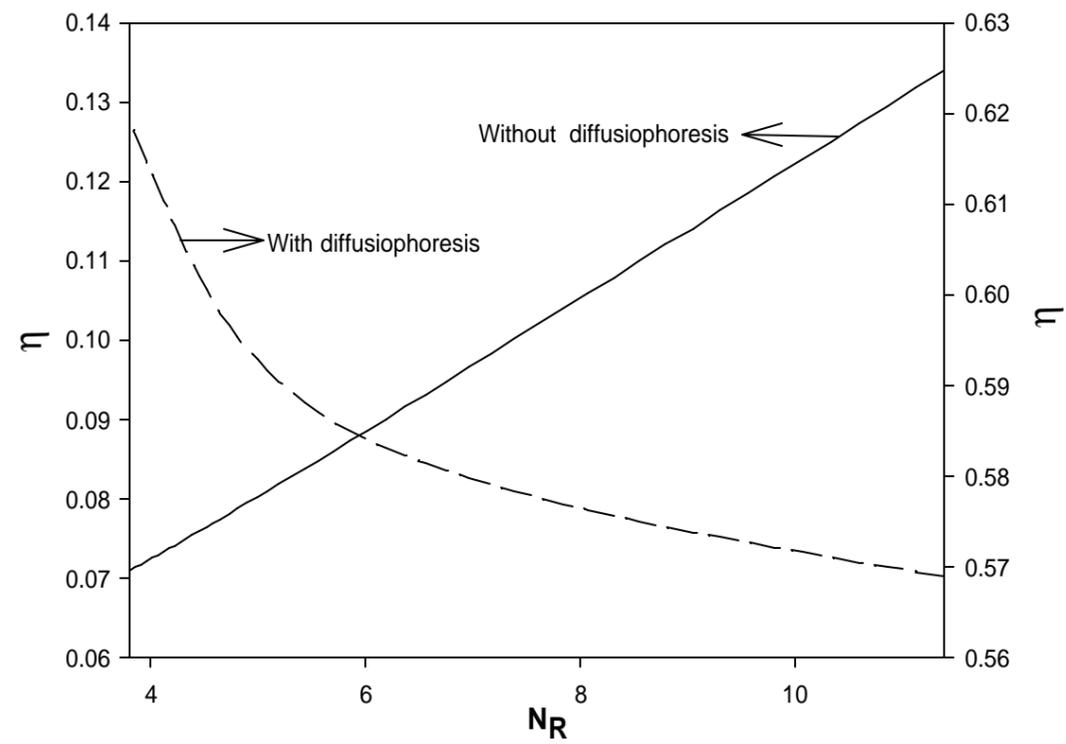
圖(4-5)橫座標以 N_R 表示無因次的粒徑，定義為

$$N_R = \frac{d_p}{d_f} \quad (4.1)$$

其中， d_p 為膠體粒子的粒徑； d_f 為收集器的管長。

圖(4-5)中其為不考慮擴散泳的情況下，所考慮的作用力僅包含布朗運動、拖曳力和 DLVO 能障三種，因本模擬的粒徑為 $d_p=0.114\text{um}$ ，此粒徑大小所造成的布朗運動對吸附效率影響甚遠，而隨著管長 (d_f) 逐漸增長，流體拖曳力效應更加明顯，使得膠體粒子原本因布朗運動能吸附於收集器上，但因流體拖曳力效應越大，膠體越容易被流體導入楔型管的深處，並且隨著慣性力而脫離楔型管，使得其吸附效率隨之降低。但在考慮擴散泳的情況下，因擴散泳作用力會產生一股往楔型管表面的力，而增加膠體粒子在徑方向的速度項，所以膠體粒子易於吸附收集器表面，而增加其吸附效率。隨著管長 (d_f) 逐漸增長，流體拖曳力效應越大，且此時溶質濃度梯度所產生的擴散泳作

用力，可以克服此 DLVO 能障所造成的排斥現象，因此吸附效率會隨著管長越長而略顯上升。



圖(4-5) 不考慮擴散泳，考慮擴散泳情況下， N_R 與吸附效率 之關係圖。其中固定 $U=0.01\text{cm/s}$ 、 $d_p=0.114\ \mu\text{m}$ 、電雙層參數($N_{DL}=70$)。