



(19)中華民國智慧財產局

(12)發明說明書公告本

(11)證書號數：TW I812816 B

(45)公告日：中華民國 112 (2023) 年 08 月 21 日

(21)申請案號：108142887

(22)申請日：中華民國 108 (2019) 年 11 月 26 日

(51)Int. Cl. : **B01D53/18 (2006.01)** **B01D53/22 (2006.01)**
B01D53/26 (2006.01) **B01D61/00 (2006.01)**
B01D61/48 (2006.01) **F24F3/14 (2006.01)**
F28D9/00 (2006.01) **F28D21/00 (2006.01)**

(30)優先權：2018/11/26 美國 16/200,376
2019/04/09 美國 16/378,769

(71)申請人：美商帕洛阿爾托研究中心公司(美國) PALO ALTO RESEARCH CENTER
INCORPORATED (US)
美國

(72)發明人：馬興明 BEH, EUGENE S. (SG)；貝尼迪克特 麥克 BENEDICT, MICHAEL
(US)；卡拉泰 艾利 KARATAY, ELIF (TR)；李維特 潔西卡路易斯貝克 RIVEST,
JESSICA LOUIS BAKER (US)

(74)代理人：王彥評；賴碧宏

(56)參考文獻：

CN 103288252A

CN 108187459A

審查人員：鄭宇辰

申請專利範圍項數：16 項 圖式數：12 共 39 頁

(54)名稱

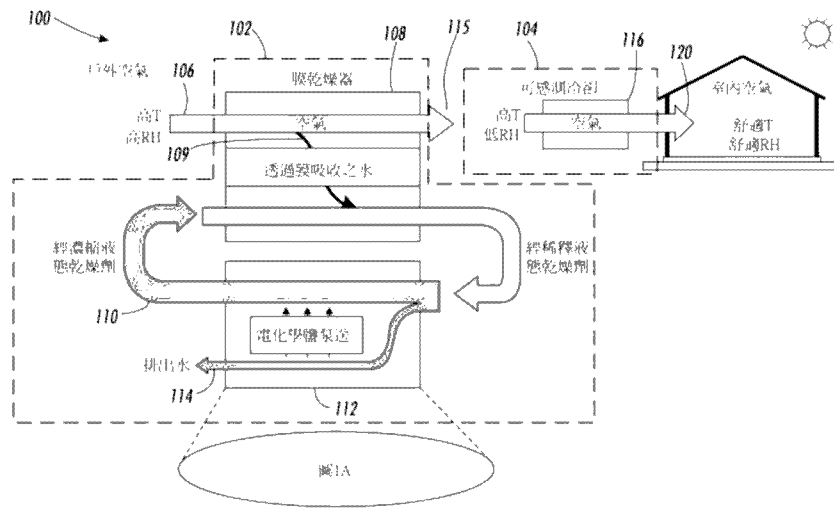
用以自流體及非流體流移除溶劑之電滲析系統及方法

(57)摘要

一種系統包括具有一鹽化腔之一電滲析裝置，一鹽化流流動通過該鹽化腔。一淡化腔係藉由一中央離子選擇性膜而與該鹽化腔分離。一淡化流流動通過該淡化腔。一陽極電解質腔及一陰極電解質腔係在該鹽化腔及該淡化腔的相對外側上且藉由第一離子交換膜及第二離子交換膜而自其分離。一溶劑交換界面在一第一側上接觸該鹽化流且在一第二側上接觸一介質流。該溶劑交換界面將一溶劑自該介質流移動至該鹽化流。

A system includes an electro dialysis device with a salinate chamber through which a salinate stream flows. A desalinate chamber is separated from the salinate chamber by a central, ion-selective membrane. A desalinate stream flows through the desalinate chamber. An anolyte chamber and a catholyte chamber are on opposite outer sides of the salinate and desalinate chambers and separated therefrom by first and second ionic exchange membranes. A solvent exchange interface is in contact on a first side with the salinate stream and is in contact a media flow on a second side. The solvent exchange interface moves a solvent from the media flow to the salinate stream.

指定代表圖：



【圖 1】

符號簡單說明：

100:電滲析液態乾燥劑

空調系統/系統/

ELDAC 系統

102:乾燥劑區段

104:冷卻區段

106:空氣

108:液體攜載膜乾燥
器/膜界面

109:水

110:乾燥劑/再濃縮乾
燥劑流/濃縮流/流

112:再生器

114:稀釋流/排出水/流

115:空氣

116:蒸發器

120:冷卻空氣

I812816

【發明摘要】**【中文發明名稱】** 用以自流體及非流體流移除溶劑之電滲析系統及方法**【英文發明名稱】** ELECTRODIALYTIC SYSTEM AND METHOD USED
TO REMOVE SOLVENT FROM FLUID AND NON-
FLUID FLOWS**【中文】**

一種系統包括具有一鹽化腔之一電滲析裝置，一鹽化流流動通過該鹽化腔。一淡化腔係藉由一中央離子選擇性膜而與該鹽化腔分離。一淡化流流動通過該淡化腔。一陽極電解質腔及一陰極電解質腔係在該鹽化腔及該淡化腔的相對外側上且藉由第一離子交換膜及第二離子交換膜而自其分離。一溶劑交換界面在一第一側上接觸該鹽化流且在一第二側上接觸一介質流。該溶劑交換界面將一溶劑自該介質流移動至該鹽化流。

【英文】

A system includes an electrodialysis device with a salinate chamber through which a salinate stream flows. A desalinate chamber is separated from the salinate chamber by a central, ion-selective membrane. A desalinate stream flows through the desalinate chamber. An anolyte chamber and a catholyte chamber are on opposite outer sides of the salinate and desalinate chambers and separated therefrom by first and second ionic exchange membranes. A solvent exchange interface is in contact on a first side with the salinate stream and is in contact a media flow on a second side. The solvent exchange interface moves a solvent from the media flow to the salinate stream.

【指定代表圖】圖1

【代表圖之符號簡單說明】

100...電滲析液態乾燥劑空調系統/系統/ELDAC系統

102...乾燥劑區段

104...冷卻區段

106...空氣

108...液體攜載膜乾燥器/膜界面

109...水

110...乾燥劑/再濃縮乾燥劑流/濃縮流/流

112...再生器

114...稀釋流/排出水/流

115...空氣

116...蒸發器

120...冷卻空氣

【發明說明書】

【中文發明名稱】 用以自流體及非流體流移除溶劑之電滲析系統及方法

【英文發明名稱】 ELECTRODIALYTIC SYSTEM AND METHOD USED
TO REMOVE SOLVENT FROM FLUID AND NON-
FLUID FLOWS

【技術領域】

【0001】 本揭露係關於一種用以自流體及非流體流移除水之電滲析系統。

【先前技術】

無

【發明內容】

【0002】 本揭露係關於一種用以自流體及非流體流移除水之電滲析系統。在一實施例中，一種系統包括具有一鹽化腔之一電滲析裝置，一鹽化流流動通過該鹽化腔。一淡化腔係藉由一中央離子選擇性膜而與該鹽化腔分離。一淡化流流動通過該淡化腔。一陽極電解質腔及一陰極電解質腔係在該鹽化腔及該淡化腔的相對外側上且藉由第一離子交換膜及第二離子交換膜而自其分離。該陽極電解質腔及該陰極電解質腔之間的離子傳輸係藉由跨該陽極電解質腔及該陰極電解質腔施加之一電壓引起的法拉第反應(faradaic reaction)而驅動。一溶劑交換界面在一第一側上接觸該鹽化流且在一第二側上接觸一介質流。該溶劑交換界面將一溶劑自該介質流移動至該鹽化流。

【0003】 可鑑於下列詳細論述及附圖瞭解各種實施例的此等及其他特徵及態樣。

【圖式簡單說明】

【0004】 下文參照下列圖式進行論述，其中可使用相同的元件符號以識別多個圖中的相似/相同組件。圖式非必然按比例繪製。

- 〔圖1〕及〔圖1A〕係根據一實例實施例之一液態乾燥劑系統的圖；
- 〔圖2〕係根據一實例實施例之空調系統的透視圖；
- 〔圖3〕係根據一實例實施例之空調系統的方塊圖；
- 〔圖4〕係根據一實例實施例之一液態乾燥劑系統的圖；
- 〔圖5A〕及〔圖5B〕係根據實例實施例之電滲析堆疊的圖；
- 〔圖6〕係根據一實例實施例之與空氣-液體界面併用之熱交換器之圖；
- 〔圖7〕係根據一實例實施例之多階段電滲析堆疊的圖；
- 〔圖8〕係根據一實例實施例之一方法的流程圖；
- 〔圖9〕及〔圖10〕係根據額外實例實施例之電滲析裝置的圖；
- 〔圖11〕係根據一實例實施例之用以自各種流體及非流體移除溶劑之系統的圖；及
- 〔圖12〕係根據另一實例實施例之一方法的流程圖。

【實施方式】

【0005】 [相關申請案之交互參照]

【0006】 此係2018年11月26日申請之美國專利申請案第16/200,376號的部分延續申請案，其內容以引用方式全文併入。

【0007】 本揭露係關於液態乾燥劑系統。一種液態乾燥劑系統尤其可用於暖通空調(heating, ventilation, and air-conditioning, HVAC)。空調佔接近10%的美國耗電量，其中在潮濕區域中除濕佔用超過一半的負載。本揭露描述一種用於空調之除濕的有效率熱力學方法。一般而言，一種系統包括與一氧化還原輔助之電滲析液態乾燥劑濃縮器串接的一膜除濕器。

【0008】 本文所述之系統利用一氧化還原輔助之電滲析程序的優點，其實現基於膜之液態乾燥劑空調系統。在此氧化還原輔助之電滲析(electrodialysis, ED)程序中，一氧化還原活性物種的一水溶液在一電化學堆疊之陽極與陰極之間循環，以濃縮離子溶液，從而排除由蒸氣壓縮(vapor compression, VC)或基於乾燥劑之空調所需的熱或壓力而驅動的熱力學相變。液態乾燥劑（例如，氯化鋰(LiCl)之水溶液）將吸收跨膜界面的空氣之濕氣。經稀釋液態乾燥劑將有效率地再濃縮，避免使水蒸發所需的潛熱輸入。估計此新提議之循環的增強效率導致在2030每年節約1.5 Quad能量。

【0009】 在圖1中，圖繪示根據一實例實施例之電滲析液態乾燥劑空調(electrodialytic liquid desiccant air conditioning, ELDAC)系統100。系統100包括一乾燥劑區段102及一冷卻區段104。在乾燥劑區段102中，迫使戶外空氣106（及/或經再循環空氣）橫跨液體攜載膜乾燥器108（在本文中亦稱為空氣-液體界面）。空氣106可係高溫且高相對濕度(relative humidity, RH)之外部空氣。來自空氣106的水109在膜界面108處被吸收至經濃縮液態乾燥劑110（例如，水性LiCl），然後通過一氧化還原輔助之再生器112，以分離稀釋流114（例如，排

第3頁，共 25 頁(發明說明書)

出水) 並且再濃縮乾燥劑流110。對於乾燥劑，可使用其他濃縮物來取代LiCl，例如，NaCl、LiBr及CaCl₂。

【0010】 減少空氣115中的濕度，留下乾燥劑區段102，其中藉由冷卻區段104進行冷卻。此冷卻區段104可包括一蒸發器116以及其他未展示的組件(例如，冷凝器、壓縮機)。因為與外部/經再循環空氣106相比，進入冷卻區段104的空氣115具有較低的相對濕度，所以與若蒸發器116亦必須冷凝來自進入空氣115的濕氣相比，蒸發器116更有效率且可使冷卻空氣120的溫度降低更大量。測量由氧化還原輔助之電滲析用來濃縮離子水溶液所使用的能量的實驗結果表明，ELDAC系統100可具有小於0.05 kBTU/lb的再生比熱輸入(regeneration specific heat input, RSHI)，其比目前使用的熱再生方法低高達30倍。

【0011】 如圖1A之詳細視圖122所見，氧化還原輔助之再生器112具有兩個外離子交換膜124，該兩個外離子交換膜使外部氧化還原通道126與內部的濃縮流110及稀釋流114分離。在此實例中，外離子交換膜124經組態為陰離子交換膜(anion exchange membrane, AEM)。濃縮流110及稀釋流114係藉由一中央離子交換膜130予以分離，在此實例中，該中央離子交換膜係陽離子交換膜(cation exchange membrane, CEM)。在其他組態中，中央離子交換膜130可係AEM，且外部膜124可係CEM。

【0012】 一外部電壓132引起氧化還原活性穿梭分子中的氧化或還原、驅動跨膜124、130的離子移動，而無需使水分流或產生其他氣態副產物(例如，氫)，並產生兩個流：經再濃縮乾燥劑110及排出水114。此目標可透過多個階段而達成。一項所提出之氧化還原穿梭係一種帶正電荷之二茂鐵衍生物

(諸如(雙(三甲胺基丙基)二茂鐵/雙(三甲胺基丙基)二茂鐵鹽，[BTMAP-Fc]²⁺/[BTMAP-Fc]³⁺)) 134，其係無毒、高穩定度、具有非常快速的電化學動力學及可忽略之膜滲透性。其他氧化還原穿梭溶液可包括亞鐵氰化物/鐵氰化物([Fe(CN)₆]⁴⁻/[Fe(CN)₆]³⁻)或帶負電荷之二茂鐵衍生物。該系統的移動部分可包括用於液體循環的低壓泵及用於空氣循環的風扇。此類型之具有氧化還原穿梭輔助之四通道電滲析堆疊之額外細節可見於共同擁有的美國專利申請案第16/200,289號(代理人案號20171214US03 / PARC.225U1)中，其係全文以引用方式併入本文中。

【0013】 在圖2，透視圖展示根據一實例實施例之一ELDAC系統200之細節。在圖3，方塊圖展示圖2中所展示的組件之一些者之間的功能關係，以及展示根據額外實施例之其他組件。系統200包括固持各種功能組件並且提供空氣導管路徑的一外殼202。經加濕空氣214(例如，外部及/或回流空氣)經由一空氣鼓風機212導引通過一第一導管220。迫使此空氣214跨空氣-液體界面除濕器206。在此實例中，除濕器206經組態為填充第一導管220的一矩形膜元件。

【0014】 一或多個平坦膜206b在除濕器206的一框架206a中，液態乾燥劑循環通過該一或多個平坦膜。在其他實施例中，取代或除了平坦膜206b之外，在除濕器206中亦可使用中空管、液體對空氣表面、液體噴霧。流體乾燥劑通過膜206b的移動可使用毛細管作用、重力供給、直接泵送液體等來實現。可提供一網格206c以用於膜206b的機械支撐，以減少由來自氣流214的空氣壓力所造成的屈曲。使用一液體泵207將液態乾燥劑從一選用之儲存槽210移動至膜除濕器206，其中該膜除濕器從空氣214吸收水並且將其饋送回至一氧化還原輔助之再生器208。氧化還原輔助之產生器208從液態乾燥劑分離出水，其中經

第5頁，共 25 頁(發明說明書)

由一排放口209排出經分離之水。請注意，雖然為了方便繪示而將組件207、208、210及相關聯之配管展示在外殼202外，但是該等組件可部分或完全位於外殼202內。

【0015】 已行進通過膜除濕器206的空氣216具有低RH，且因此可藉由一可感測熱移除器204（例如，冷媒循環空調器的蒸發器）予以更有效率處理。已行進通過可感測熱移除器204的經冷卻空氣218行進通過供應導管220，其中經冷卻空氣離開外殼202且用以冷卻一目標空間，例如，建築物、車輛等。

【0016】 請注意，在圖3中，一氧化還原儲存槽300經展示為與LD再生器208流體連通。ELDAC系統200可包括氧化還原貯器300及乾燥劑貯器210中之一或兩者。請注意，藉由使用分開之貯器或具有二或更多個分割區的一單一儲存器，乾燥劑儲存器210可儲存用於濃縮流及稀釋流（例如，圖1中之流110及114）兩者的流體。類似地，氧化還原儲存器300可儲存氧化還原流的經濃縮及稀釋部分（例如，圖1所示的流126之底部及頂部部分）。在一些實施例中，這些貯器210、300可用作為緩衝器。例如，若從ELDAC系統200排放的水不等於從空氣吸收的水，則可自貯器210汲取經濃縮或經稀釋乾燥劑之一者（或兩者之一組合），以確保乾燥劑迴路維持所欲濃縮物位準及/或流速。

【0017】 貯器210、300可具有足夠容量，以用於除了除濕外的其他目的。例如，如在美國專利申請案第16/200,289號（代理人檔案號碼20171214US03 / PARC.225U1）中所描述：電滲析電池組302可使用氧化還原溶液300以產生電力，因此回復在除濕中使用的一些電力。此類程序可與除濕一起或分開地運作。例如，發電可發生在夜間當系統被輕度利用或關閉時。

【0018】 在圖4中，圖展示根據一實例實施例之一液態乾燥劑系統的額外細節。一電滲析堆疊400提供用於一液態乾燥劑迴路402及一氧化還原穿梭迴路404的一外殼。藉由外交換膜406分離殼體400內的迴路402、404，並且藉由一中央交換膜408分離液態乾燥劑迴路402之經稀釋/濃縮路徑402a、402b。迴路402、404中之流體分別由泵412、410驅動。

【0019】 液態乾燥劑迴路402開始於在點402c處的經濃縮液態乾燥劑。乾燥劑迴路402包括一水性離子溶液，諸如在水中之氯化鋰。典型起始濃度係~30重量%乾燥劑。使經濃縮乾燥劑溶液接觸空氣-膜界面/交換器414，諸如圖2及圖3所示的膜除濕器206。在交換器414，較高RH空氣416進入，且較低RH空氣418離開。藉由乾燥劑橫跨在交換器414處的水選擇性膜422（或其他液體-空氣界面）拉動來自空氣的水蒸汽420，藉此稀釋乾燥劑溶液，該乾燥劑溶液在點402d處以較低濃度離開。

【0020】 在電滲析堆疊400處，較低濃度液態乾燥劑溶液402d在接合點402e處分流而分流成分開之流402a、402b，使該等流接觸堆疊400之膜406、408。流402b隨著其行進通過堆疊400而被濃縮且重新進入泵412，而具有與點402c相同的濃度。其他流402a隨著其行進通過堆疊400而被稀釋且作為經高度稀釋的水流離開，而可被排放、儲存、或用於一些其他目的。

【0021】 泵410使氧化還原穿梭在點404a與404b之間循環，於是與電極424接觸。跨電滲析堆疊施加的電壓426將離子從流402a驅動至流402b、從流402a驅動至流404b、且從流404a驅動至流402b。在各情況中，驅動離子通過膜406、408而影響濃度。圖5A展示電滲析堆疊500之一替代實施例，其使用LiCl作為乾燥劑濃縮物且使用[BTMAP-Fc]²⁺/[BTMAP-Fc]³⁺作為氧化還原穿梭。藉

第7頁，共 25 頁(發明說明書)

由一中央離子交換膜506（在此情況中，陽離子交換膜(CEM)）使LiCl乾燥劑濃縮物分流成淡化/經稀釋流及經濃縮流504。一氧化還原穿梭迴路508具有第一氧化還原流508a及第二氧化還原流508b，藉由與中央離子交換膜506不同類型（在此情況中，陰離子交換膜(AEM)）的各別第一外離子交換膜507及第二外離子交換膜509將該第一氧化還原流及該第二氧化還原流與該液態乾燥劑迴路之該經稀釋流及該經濃縮流分離。

【0022】 圖5B展示電滲析堆疊510之另一替代實施例，其使用LiCl作為乾燥劑濃縮物且使用 $[\text{Fe}(\text{CN})_6]^{4-}/[\text{Fe}(\text{CN})_6]^{3-}$ 作為氧化還原穿梭。藉由一中央離子交換膜516（在此情況中，陰離子交換膜(AEM)）使LiCl乾燥劑濃縮物分流成淡化/經稀釋流及經濃縮流514。一氧化還原穿梭迴路518具有第一氧化還原流518a及第二氧化還原流518b，藉由與中央離子交換膜516不同類型（在此情況中，陽離子交換膜(CEM)）的各別第一外離子交換膜517及第二外離子交換膜519將該第一氧化還原流及該第二氧化還原流與該液態乾燥劑迴路之該經稀釋流及該經濃縮流分離。請注意，圖5A及圖5B所示之電滲析堆疊500、510可用在本文中所展示的除濕迴路之任何者中。

【0023】 上文所述之系統之除濕部分僅需要用於驅動泵及電滲析堆疊以及待除濕的輸入空氣流的電力。將會有出口水流及低RH空氣。該系統意欲用於除濕，然而可經調適以用於額外用途，例如，從所儲存的氧化還原溶液發電。因為與現有的除濕系統相比，由於在零或接近零過電位使用電滲析濃度，所以ELDAC需要顯示更少的能量，因此提供利益。因為該系統不依賴水分流來驅動離子運動，所以當用在經濃縮鹽溶液時，ELDAC不產生任何有毒或可燃氣體（例如，氯化物或氫），這不同於如習知電滲析的其他電化學程序。一實例

第8頁，共 25 頁(發明說明書)

應用可在一正常空調器上游使用ELDAC，以消除該空調器的潛熱負載且降低空調費用。

【0024】 吸收液態乾燥劑中的濕氣是放熱，使得將增加攜載液態乾燥劑的空氣-液體界面之溫度。此溫度的增加會導致接收行進通過空氣-液體界面之空氣的一可感測冷卻區段上的負載增加。在圖6中，圖展示根據一實例實施例之用於從空氣-液體界面600移除熱之系統。熱交換器602熱耦接至熱轉移元件604，熱轉移元件分佈遍及界面600之部件（例如，膜）。

【0025】 熱轉移元件604可係傳導條（例如金屬、碳奈米管等）、充氣式或充液式被動熱管（例如，熱虹吸管）、通過其泵送氣體或液體的導管、輻射熱吸收器或所屬技術領域中已知的其他攜熱結構。攜載通過元件604的熱被傳遞至熱交換器602，該熱交換器經受一冷卻流606。冷卻流606為一氣體流或液體流，其攜載熱遠離熱交換器602，且最終可將熱卸放至環境散熱器（例如，空氣、土壤、水）。在其他實施例中，可（例如，沿熱轉移路徑610）將熱608轉移至其他散熱器（諸如一電滲析堆疊612，其可係與提供乾燥劑給界面600的相同堆疊或不同堆疊）及/或來自系統的排出水614（例如，圖1中之排出水114）。

【0026】 在先前實例中，一種電滲析堆疊包括一單一氧化還原迴路。在其他實施例中，一堆疊可包括多個氧化還原迴路及相關聯之離子膜，以進一步增加稀釋/濃度位準及/或增加可處理的乾燥劑流量。在圖7中，方塊圖展示根據一實例實施例之一雙階段電滲析堆疊700。

【0027】 電滲析堆疊700處理一液態乾燥劑迴路702，行進通過第一階段704的該液態乾燥劑迴路分流成一經稀釋流702a及一經濃縮流702b。離開階

段704的流702a行進通過第二階段706而進一步分流成第二經稀釋流702d及第二經濃縮流702e。離開階段706的流702e之濃度低於離開階段704的流702b之濃度，且可與輸出流702c再混合並重新引入至前一階段704，而非與流702b再混合並重新引入至空氣-液體界面708。為了最大化效率，在流702c及702e中的乾燥劑濃度約相等（例如，在0至20%之內）。

【0028】 階段704、706之各者具有分離經稀釋流702a、702d與經濃縮流702b、702e的一中央離子交換膜704a、706a。階段704、706之各者具有含第一氧化還原流及第二氧化還原流704ba、704bb、706ba、706bb的一氧化還原穿梭迴路704b、706b，藉由各別第一及第二外離子交換膜704c、704d、706c、706d將該等第一及第二氧化還原流與液態乾燥劑迴路702的經稀釋流702a、702d及經濃縮流702b、702e分離。階段704、706各包括第一及第二電極704e、704f、706e、706f，該等電極可操作以跨電滲析堆疊700之階段704、706的施加電壓。

【0029】 空氣-液體界面708與離開第一階段704的液態乾燥劑之經濃縮流702b流體連通。空氣-液體界面708使該液態乾燥劑之經濃縮流702b暴露於跨空氣-液體界面708流動之空氣，經由從空氣吸收水來稀釋該經濃縮流，以形成一輸出流702c。輸出流702c與離開第二階段706的輸出流702e組合。一第一泵712使該液態乾燥劑循環通過電滲析堆疊700及空氣-液體界面708。在與輸出流702e組合之後，來自空氣-液體界面708之輸出流702c在進入電滲析堆疊700時分流成經稀釋流702a及經濃縮流702b。

【0030】 跨電極704e、704f、706e、706f的電壓引起跨中央離子交換膜704a、706a及第一外離子交換膜704c、706c的離子移動，導致一乾燥劑濃縮物

從第一經稀釋流702a移動至階段704之第一氧化還原流704ba且移動至第一經濃縮流702b，且類似地，從第二經稀釋流702d移動至階段706之第一氧化還原流706ba且移動至第二經濃縮流702e。第二泵714、716使氧化還原穿梭迴路704b、706b循環，使得第一氧化還原流704ba、706ba及第二氧化還原流704bb、706bb跨各別第一外離子交換膜704c、706c及第二外離子交換膜704d、706d流動。電壓亦將引起跨第二外交換膜704d、706d的一第二（與類似的）離子移動，其導致乾燥劑濃縮物從第二氧化還原流704bb、706bb移動至經濃縮流702b、702e。

【0031】 請注意，階段704、706可相同或不同。例如，各階段704可使用氧化還原穿梭溶液、中央及外交換膜類型、電壓、膜幾何、乾燥劑流動幾何、氧化還原流率等的不同組合。依此方式，階段704、706可經最佳化用於在經稀釋流702a、702d及經濃縮流702b、702e之部分內的不同預期濃度。階段704、706可同時操作，且該等階段之一者或另一者可在一些條件下關閉。例如，若在經稀釋流702a內的濃縮位準低於某個臨限，則可將階段704、706之一者關閉以節省能量並減少耗損。若經稀釋流702a內之濃縮位準高於此臨限，則可重新啟動經停用的階段704、706。

【0032】 圖7所展示之實施例可延伸至超過兩個階段704、706。進一步地，雖然階段704、706經展示為單一電滲析堆疊單元700之部分，但是該等階段可經實施為分開的外殼，該等外殼例如藉由配管而耦接以攜載乾燥劑迴路702之流702a、702b、702d、702e。在一實施例中，例如藉由使迴路704b、706b並列或串列延行，可使用一個氧化還原泵，而非使用兩個泵714、716。請注意，多階段電滲析堆疊（諸如圖7所展示者）可用於先前（例如，圖1至圖5）

中所展示之實施例之任一者中，並且可併入該等圖及其他圖中所展示的任何特徵，例如流體儲存貯器、熱交換器等。

【0033】 在圖8中，流程圖展示根據一實例實施例之一方法。該方法涉及使一液態乾燥劑循環通過一空氣-液體界面(800)。使空氣跨該空氣-液體界面流動，使得該液態乾燥劑從空氣吸收水(801)。經由吸收水來稀釋該液態乾燥劑，以形成一輸出流。在至一電滲析堆疊之一輸入處，將該輸出流分流成一經稀釋流及一經濃縮流(802)。該電滲析堆疊具有一中央離子交換膜及與該中央離子交換膜不同類型（例如，陽離子或陰離子）的第一與第二外離子交換膜。

【0034】 使該經稀釋流在該中央離子交換膜與該第一外離子交換膜之間流動(803)。使該經濃縮流在該中央離子交換膜與該第二外離子交換膜之間流動(804)。一氧化還原穿梭迴路環繞該第一外離子交換膜及該第二外離子交換膜循環(805)。跨該電滲析堆疊施加一電壓，以引起跨該中央離子交換膜及該第一離子交換膜的離子移動(806)。此移動導致一乾燥劑濃縮物從該經稀釋流移至該氧化還原穿梭迴路且移動至該經濃縮流。

【0035】 在以上實例中，電滲析堆疊係用以自諸如空氣之氣體（其係通常分類為流體）移除水。此技術亦可用以自除空氣之外的其他流體（以及非流體）移除水（或其他溶劑）。例如，如下文所述之設備可係用於自一濃度之水性液體（諸如飲料或調味料）移除水、非水性液體的乾燥、固體的脫水等。該設備利用經設計以將鹽自其等溶解於其中之溶劑分離的氧化還原穿梭電化學電池，其係以藉由將溶解在水中的氧化還原活性物種自陽極至陰極並再次返回而循環的具能源效率方式。電化學電池接受溶解於水中之鹽的輸入（或弱提取

液(draw solution))，並將其分離成溶解於水中的濃縮鹽之一輸出流（或強提取液）及具有溶解於水中的耗竭鹽位準（或可忽略鹽位準）的第二輸出流。

【0036】 氧化還原穿梭電化學電池係連接在膜界面模組的下游，該膜界面模組提供大表面積以用於使強提取液進入接觸待乾燥材料的膜中。在膜界面模組處，水係透過該膜自所討論的材料吸收並進入強提取液中，而形成較大體積的弱提取液。該弱提取液係再生成較小體積的強提取液，並返回至膜界面模組。

【0037】 正滲透係一種常用以將水自輸入流體移除並進入提取液之技術。無機鹽（諸如氯化鈉）之水溶液係例行地用作為正滲透提取液。在提取液已吸收來自輸入流體的水後，現在比先前更稀釋且必須再濃縮（或再生）至其原始濃度，同時移除從進氣吸收之額外水。

【0038】 一種再濃縮提取液的方法已係藉由加熱稀釋溶液來蒸發過量的水。此係效率不佳的，因為蒸發速率在鹽含量高且相對濕度亦高時係減緩的。一種濃縮液態乾燥劑溶液之非熱方法將避免此等問題。電滲析係非常適合濃縮鹽水（如前述提取液）；然而，比起如RO的其他淡化技術（0.06至0.08 kWh/kg NaCl），電滲析目前消耗相對較多用於鹽移除的能量（~0.26至0.30 kWh/kg NaCl），但少於如蒸氣壓縮的熱技術（0.6至1.0 kWh/kg NaCl）。電容去離子法使用電能，但亦係能量密集的(0.22 kWh/kg NaCl)，且最佳適用於自水移除非常微量的溶解鹽，因為電極必須係固體（依定義）。雖然電滲析係可採用以處理任何鹽分之鹽水的技術，但不同於RO，由於其對於鹽移除的高比能量消耗而使用途受限制。

【0039】 在習知的電滲析中，離子係藉由在陽極及陰極處的法拉第反應而從水中驅動出（或驅動進入水中）。在大多數情況中，法拉第反應係水分流之：水係在陽極處氧化成氧並在陰極處還原成氫，接著在電極處產生電荷不平衡，其係藉由離子移動通過經策略性放置之離子選擇性膜而平衡。然而，水分流涉及能量懲罰(energetic penalty)，此係因為需要能量來進行。該問題係因顯著的過電位與水氧化及還原兩者相關聯的事實而加劇。此外，在陽極處所產生的氧、氯、或溴氣係高度破壞性的，且需要使用經鉑/銻電鍍的電極。

【0040】 電化學電池可用於具能源效率的電滲析以再濃縮經稀釋之鹽溶液，並將濃縮的鹽流自已被吸收的水分離。在圖9及圖10中，圖顯示根據實例實施例之電化學電池900、1000。電化學電池900包括串列的四個腔902至905，各者藉由適當的離子選擇性膜908至910自其相鄰者分離。在此情況中，使用帶正電荷之氧化還原穿梭BTMAP-Fc 508a、508b。在圖10中，電化學電池1000使用具有不同配置之膜1008至1010的帶負電荷之氧化還原穿梭Fe(CN)。注意到，原則上，可採用任意數量成對的交替鹽化腔與淡化腔，儘管一旦所施加的電壓超過1.26 V可能會在大量的腔中開始發生水分流。

【0041】 在一實施例中，溶解在水中的氧化還原載劑在陰極處還原，然後係穿梭至其被再氧化之陽極，且隨後再遞送至陰極以完成循環。亦可原則上採用固體氧化還原載劑，但因為固體氧化還原活性材料無法從該電池的一側輕易地運輸至另一側，所以需要大量的載劑及頻繁切換鹽化流及淡化流。

【0042】 原則上，從相當高鹽分的進料流開始，電滲析能夠產生鹽分遠低於0.5 ppt的水。在一實施例中，採用相同裝置來再濃縮提取液流，其一般係濃縮的無機鹽溶液。為了最小化從淡化流至鹽化流之水交越(water crossover)

的損失，該裝置可由數個不同單元製成，使鹽分於其中在數個階段內降至低位準。此外，該氧化還原穿梭應理想地以最小化至或自鹽化流及淡化流兩者之淨水交越的濃度操作。為此，BTMAP-Fc因為其在水中具有非常高的溶解度而係理想的，其可匹配乾燥劑流的濃度（至多1.9莫耳或~10莫耳）。

【0043】 現參照圖11，圖顯示根據一實例實施例的系統，其可係用以藉由再濃縮溶液流（例如，鹽溶液）而自輸入流體吸收水。該系統包括具有鹽化腔1102之電滲析(electrodialysis, ED)裝置1100，鹽化流1104流動通過該鹽化腔。ED裝置1100包括淡化腔1106，該淡化腔係藉由中央離子選擇性膜1108而與鹽化腔1102分離。淡化流1110流動通過淡化腔1106。替代地，淡化流1110可在其進入ED裝置1100之前自鹽化流1104分流1111。陽極電解質腔1112及陰極電解質腔1114係在鹽化腔1102及淡化腔1106的相對外側上且藉由第一離子交換膜1116及第二離子交換膜1118而自其分離。

【0044】 陽極電解質腔1112及陰極電解質腔1114之間的離子傳輸係藉由跨陽極電解質腔1112及陰極電解質腔1114施加之電壓引起的法拉第反應而驅動。在一實施例中，一或多個氧化還原載劑流動通過陽極電解質腔1112及陰極電解質腔1114，例如，單一氧化還原載劑流係溶解於水中並自陽極電解質腔1112至陰極電解質腔1114並再次返回而循環。注意到，陽極電解質腔1112及陰極電解質腔1114可定位成與此處所示者相反，例如使用不同的氧化還原載劑及不同類型的膜1108、1116、1118。

【0045】 該鹽化流係傳送至亦耦合至介質流1122之交換單元1120。交換單元1120包括在第一側上接觸鹽化流1104且在第二側上接觸介質流1122之水交換界面1124（例如，正滲透膜(forward osmosis membrane)）。水1126跨水交

換界面1124移動遠離介質流1122，並進入鹽化流1104中。介質流1122可係含有至少一些可被萃取之水的液體、半固體、固體、凝膠、霧氣等。

【0046】 在此實例中，LiBr係顯示為實例提取溶液溶質，其流動通過鹽化流1104及淡化流1110。針對淡化流1110顯示1%的LiBr之實例濃度，但其可高於或低於該濃度。淡化流1110可係使用相同或不同的方法丟棄或可選地再濃縮並饋送回至該系統，例如，進入腔1102、1106之一或兩者。其他溶質可包括NaCl、KCl、CaCl₂、CaBr₂、或LiCl。

【0047】 如方塊1128所指示，淡化流1110仍含有少量溶解的鹽，若該鹽便宜到足以丟棄，則其可單純作為廢棄物排出或作為灰水(gray water)再利用，藉此管制操作成本。替代地，淡化流1110可係使用諸如膜滲透蒸發、逆滲透、或結構相似於第一ED裝置1100的第二ED裝置來再濃縮，並饋送回至ED裝置1100之中間階段內。淡化流1110亦可含有濃度低到足以飲用（低於0.5 ppt）的鹽。

【0048】 在圖12中，流程圖顯示根據一實例實施例之一方法。該方法涉及使鹽化流流動通過鹽化腔(1200)。使淡化流流動通過淡化腔，該淡化腔係藉由中心離子選擇性膜而與該鹽化腔分離(1201)。跨陽極電解質腔及陰極電解質腔施加電壓，該陽極電解質腔及該陰極電解質腔在該鹽化腔與該淡化腔的相對外側上且藉由第一離子交換膜及第二離子交換膜而自其分離(1202)。該電壓引起造成陽極電解質腔及陰極電解質腔之間的離子傳輸之法拉第反應。使該鹽化流跨水交換界面之第一側流動(1203)。使介質流接觸該水交換界面之第二側(1204)。該水交換界面將水自介質流移動至鹽化流。

【0049】 再次參照圖11，鹽化流1104及1110中的溶劑不一定必須係水，而係任何通用溶劑。流1104、1110中之實例溶劑可係混溶溶劑之任何組合。實例溶劑包括但不限於水、乙醇、丁醇、異丙醇、乙二醇、二乙二醇、*N,N*-二甲基甲醯胺、1,4-二噁烷、丙酮、及四氫呋喃。

【0050】 鹽化流1104及淡化流1110中的溶解溶質應理解為包括一或多種可在ED裝置1100中濃縮之電解質。例如，流1104、1110中的電解質可係可溶於流1104、1110之溶劑中的任何離子鹽組合，包括但不限於在海水中或廢水中遇到的那些。可存在於電解質中的實例陽離子包括但不限於銦、鋰、鈉、鉀、鎂、鈣、鋁、銨、烷基銨、及咪唑啉鎘。可存在於電解質中的實例陰離子包括但不限於氯離子、溴離子、碘離子、磺酸根、磷酸根、碳酸根、碳酸氫根、羧酸根、鹵氧陰離子(halide oxyanion)、硫氧陰離子(sulfur oxyanion)、磷氧陰離子(phosphorous oxyanion)、及氮氧陰離子(nitrogen oxyanion)。

【0051】 除非另有指明，否則說明書及申請專利範圍中用以表達特徵之尺寸、數量以及物理特性的所有數字，皆應理解為在所有情況下以「約(about)」一詞修飾之。因此，除非另有相反指示，否則在前述說明書以及隨附申請專利範圍中所提出的數值參數取決於所屬技術領域中具有通常知識者運用本文所揭示之教示所獲得的所欲特性而有所不同。藉由端點使用數值範圍包括在該範圍內的所有數字（例如1至5包括1、1.5、2、2.75、3、3.80、4、及5）以及該範圍內的任何範圍。

【0052】 為了說明及描述的目的，已經提供了實例實施例的前述說明。其並非旨在窮舉或限制實施例為所揭示的精確形式。鑑於上述教示，許多修改及變型係可行的。所揭示實施例之任何或所有特徵可個別或以任何組合施

加，並非意欲係限制性的，而純係例示性的。旨在使本發明之範圍並非以此實施方式限制，而是由隨附申請專利範圍所判定。

【符號說明】

【0053】

100...電滲析液態乾燥劑空調系統/系統/ELDAC 系統

102...乾燥劑區段

104...冷卻區段

106...空氣

108...液體攜載膜乾燥器/膜界面

109...水

110...乾燥劑/再濃縮乾燥劑流/濃縮流/流

112...再生器

114...稀釋流/排出水/流

115...空氣

116...蒸發器

120...冷卻空氣

122...詳細視圖

124...外離子交換膜/膜

126...氧化還原通道/流

130...中央離子交換膜/膜

132...外部電壓

- 134...二茂鐵衍生物
- 200...ELDAC 系統/系統
- 202...外殼
- 204...可感測熱移除器
- 206...除濕器
- 206a...框架
- 206b...膜
- 206c...網格
- 207...液體泵/組件
- 208...再生器/產生器/組件
- 209...排放口
- 210...儲存槽/組件/儲存器/貯器
- 212...空氣鼓風機
- 214...空氣/氣流
- 216...空氣
- 218...空氣
- 220...導管
- 300...儲存槽/貯器/氧化還原溶液
- 302...電滲析電池組
- 400...堆疊/殼體
- 402...迴路
- 402a...路徑/流

402b...路徑/流
402c...點
402d...點/溶液
402e...點
404...迴路
404a...點/流
404b...點/流
406...膜
408...膜
410...泵
412...泵
414...交換器
416...較高 RH 空氣
418...較低 RH 空氣
420...水蒸汽
422...水選擇性膜
424...電極
426...電壓
500...電滲析堆疊
504...經濃縮流
506...中央離子交換膜
507...外離子交換膜

- 508...氧化還原穿梭迴路
- 508a...氧化還原流/氧化還原穿梭 BTMAP-Fc
- 508b...氧化還原流/氧化還原穿梭 BTMAP-Fc
- 509...外離子交換膜
- 510...電滲析堆疊
- 514...經濃縮流
- 516...中央離子交換膜
- 517...外離子交換膜
- 518...氧化還原穿梭迴路
- 518a...氧化還原流
- 518b...氧化還原流
- 519...外離子交換膜
- 600...界面
- 602...熱交換器
- 604...熱轉移元件/元件
- 606...冷卻流
- 608...熱
- 610...熱轉移路徑
- 612...電滲析堆疊
- 614...水
- 700...電滲析堆疊/電滲析堆疊單元
- 702...液態乾燥劑迴路

- 702a...經稀釋流/流
- 702b...經濃縮流/流
- 702c...輸出流/流
- 702d...經稀釋流/流
- 702e...經濃縮流/輸出流/流
- 704...階段
- 704a...中央離子交換膜
- 704b...氧化還原穿梭迴路/迴路
- 704ba...氧化還原流
- 704bb...氧化還原流
- 704c...外離子交換膜
- 704d...外離子交換膜
- 704e...電極
- 704f...電極
- 706...階段
- 706a...中央離子交換膜
- 706b...氧化還原穿梭迴路/迴路
- 706ba...氧化還原流
- 706bb...氧化還原流
- 706c...外離子交換膜
- 706d...外離子交換膜
- 706e...電極

706f...電極

708...空氣-液體界面

712...泵

714...泵

716...泵

800...步驟

801...步驟

802...步驟

803...步驟

804...步驟

805...步驟

806...步驟

900...電化學電池

902...腔

903...腔

904...腔

905...腔

908...離子選擇性膜

909...離子選擇性膜

910...離子選擇性膜

1000...電化學電池

1008...膜

- 1009...膜
- 1010...膜
- 1100...電滲析裝置/ED 裝置
- 1102...鹽化腔/腔
- 1104...鹽化流/流
- 1106...淡化腔/腔
- 1108...中央離子選擇性膜/膜
- 1110...淡化流/流
- 1111...分離
- 1112...陽極電解質腔
- 1114...陰極電解質腔
- 1116...離子交換膜/膜
- 1118...離子交換膜/膜
- 1120...交換單元
- 1122...介質流
- 1124...水交換界面
- 1126...水
- 1128...方塊
- 1200...步驟
- 1201...步驟
- 1202...步驟
- 1203...步驟

1204...步驟

【發明申請專利範圍】

【第 1 項】 一種電滲析系統，其包含：

一電滲析裝置，其包含：

一鹽化腔，一鹽化流流動通過該鹽化腔；

一淡化腔，其藉由一中央離子選擇性膜而與該鹽化腔分離，一淡化流流動通過該淡化腔；及

一陽極電解質腔及一陰極電解質腔，其在該鹽化腔與該淡化腔的相對外側上且藉由第一離子交換膜及第二離子交換膜而自其分離，該陽極電解質腔及該陰極電解質腔之間的離子傳輸係藉由跨該陽極電解質腔及該陰極電解質腔施加之一電壓引起的法拉第反應而驅動；及

一正滲透膜在一第一側上接觸該鹽化流且在一第二側上接觸一介質流，該正滲透膜將一溶劑自該介質流移動至該鹽化流，

其中該等法拉第反應利用流動通過該陽極電解質腔及該陰極電解質腔的一氧化還原載劑流。

【第 2 項】 如請求項 1 之系統，其中該介質流包含一流體。

【第 3 項】 如請求項 1 之系統，其中該介質流包含一固體、一半固體、或流體及固體或半固體之一混合物。

【第 4 項】 如請求項 1 之系統，其中該氧化還原載劑流自該陽極電解質腔至該陰極電解質腔並再次返回而循環。

【第 5 項】 如請求項 1 之系統，其中該鹽化流及該淡化流中之該溶劑包含水。

【第 6 項】 如請求項 1 之系統，其中該鹽化流及該淡化流包含一鹽溶液。

【第 7 項】如請求項 6 之系統，其中該鹽溶液包含 NaCl、KCl、CaCl₂、CaBr₂、LiCl、或 LiBr 中之至少一者。

【第 8 項】如請求項 1 之系統，其中該淡化流經再濃縮並返回至該電滲析裝置。

【第 9 項】一種電滲析方法，其包含：

使一鹽化流流動通過一鹽化腔；

使一淡化流流動通過一淡化腔，該淡化腔係藉由一中央離子選擇性膜而與該鹽化腔分離；

跨一陽極電解質腔及一陰極電解質腔施加一電壓，該陽極電解質腔及該陰極電解質腔在該鹽化腔與該淡化腔的相對外側上且藉由第一離子交換膜及第二離子交換膜而自其分離，該電壓引起一法拉第反應，該法拉第反應造成該陽極電解質腔及該陰極電解質腔之間的一離子傳輸；

使該鹽化流跨一正滲透膜之一第一側流動；及

使一介質流接觸該正滲透膜之一第二側，該正滲透膜將溶劑從該介質流移動至該鹽化流，

其中該等法拉第反應利用流動通過該陽極電解質腔及該陰極電解質腔的一氧化還原載劑流。

【第 10 項】如請求項 9 之方法，其中該介質流包含一流體。

【第 11 項】如請求項 9 之方法，其中該介質流包含一固體、一半固體、或流體及固體或半固體之一混合物。

【第 12 項】如請求項 9 之方法，其中該氧化還原載劑流自該陽極電解質腔至該陰極電解質腔並再次返回而循環。

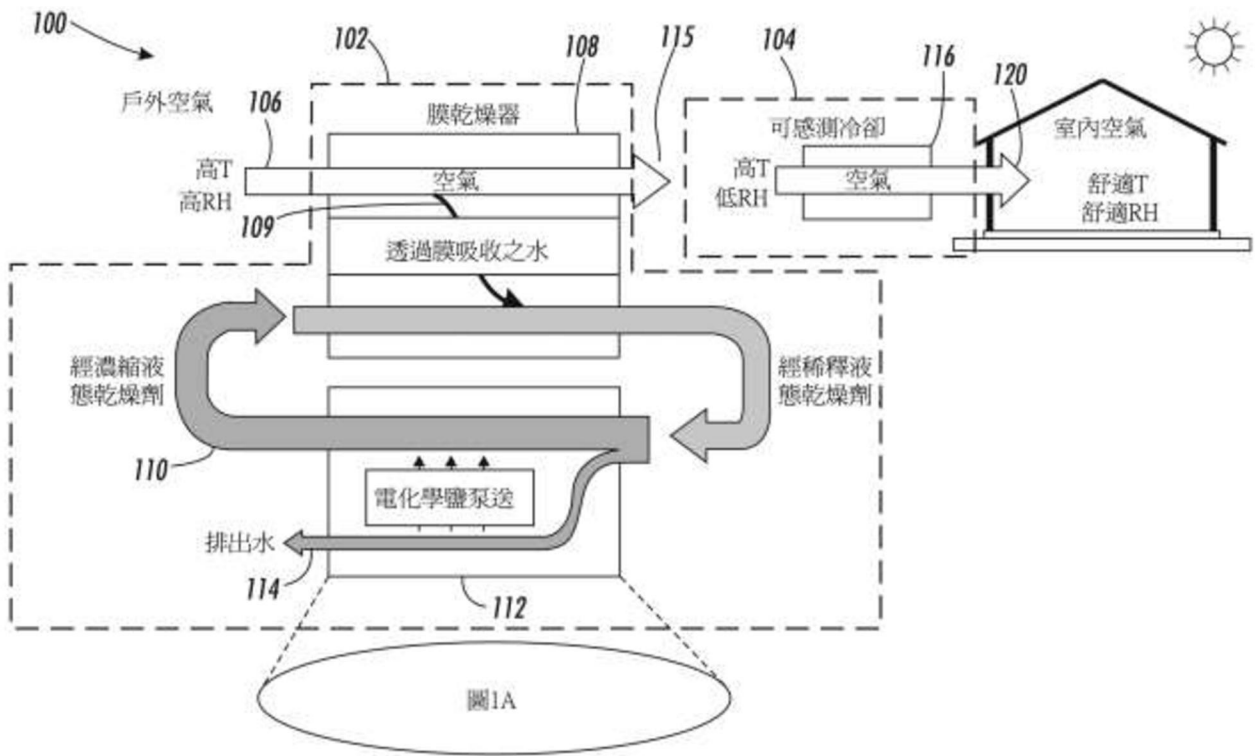
【第 13 項】如請求項 9 之方法，其中該鹽化流及該淡化流中之該溶劑包含水。

【第 14 項】如請求項 9 之方法，其中該鹽化流及該淡化流包含一鹽溶液。

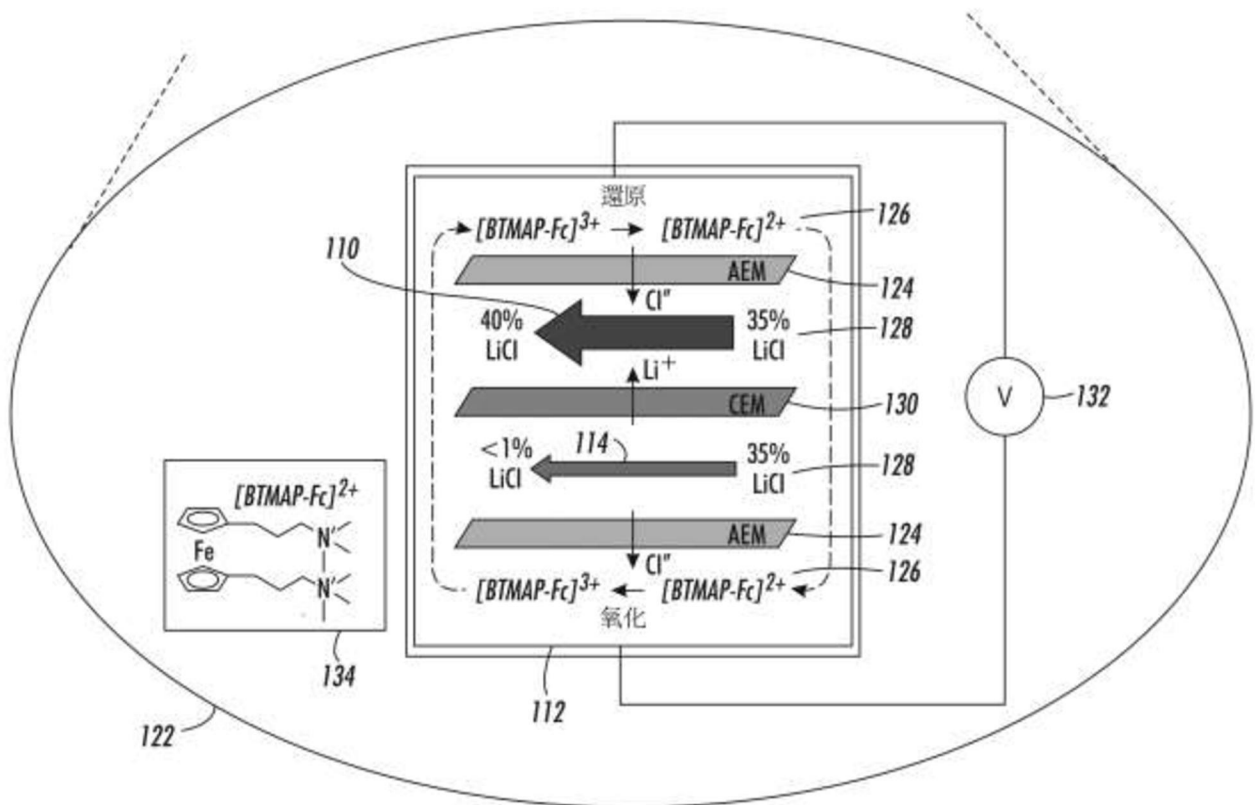
【第 15 項】如請求項 14 之方法，其中該鹽溶液包含 NaCl、KCl、CaCl₂、CaBr₂、LiCl、或 LiBr 中之至少一者。

【第 16 項】如請求項 9 之方法，其進一步包含再濃縮該淡化流，及使經再濃縮之該淡化流返回至該鹽化腔及該淡化腔之一或多者。

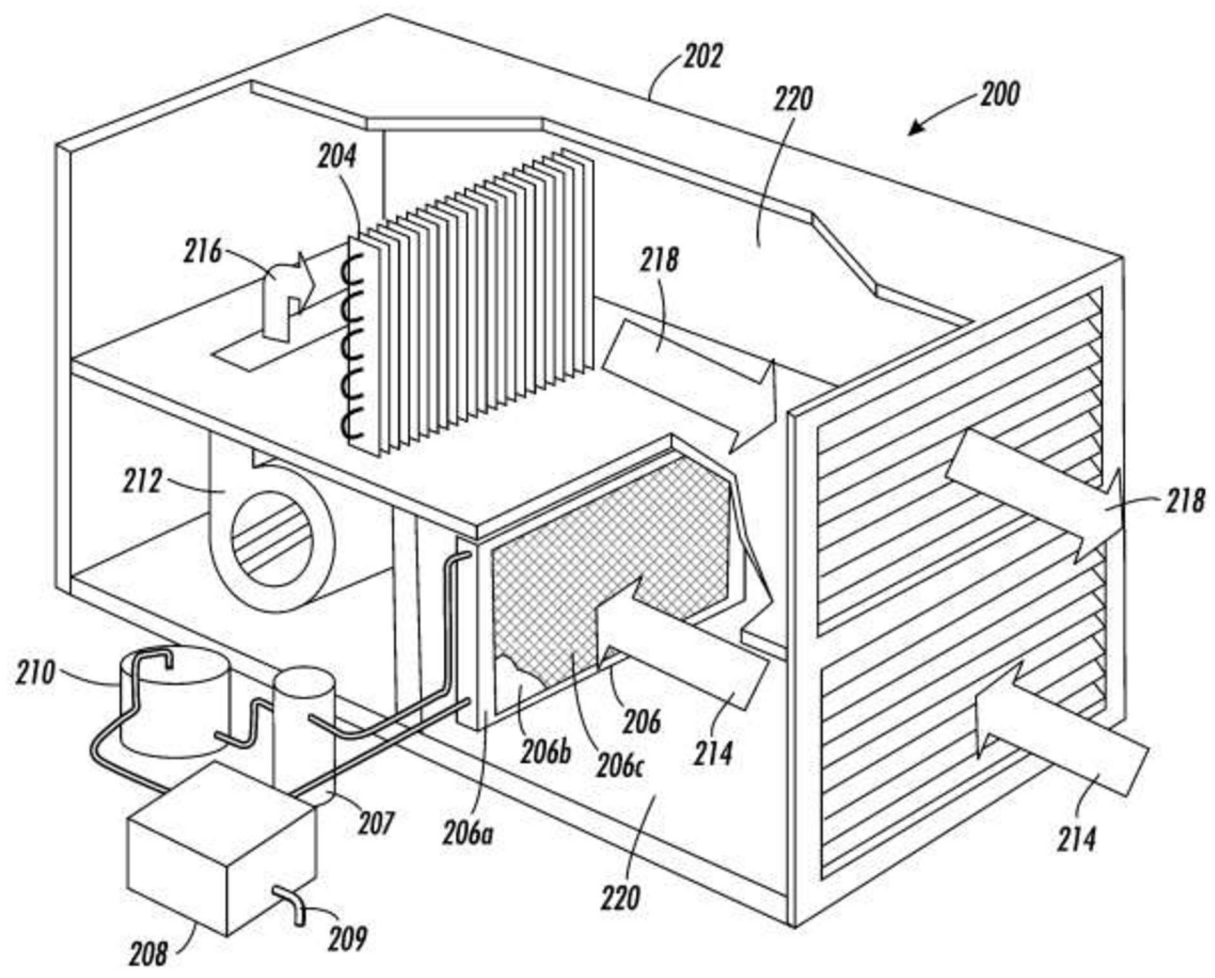
【發明圖式】



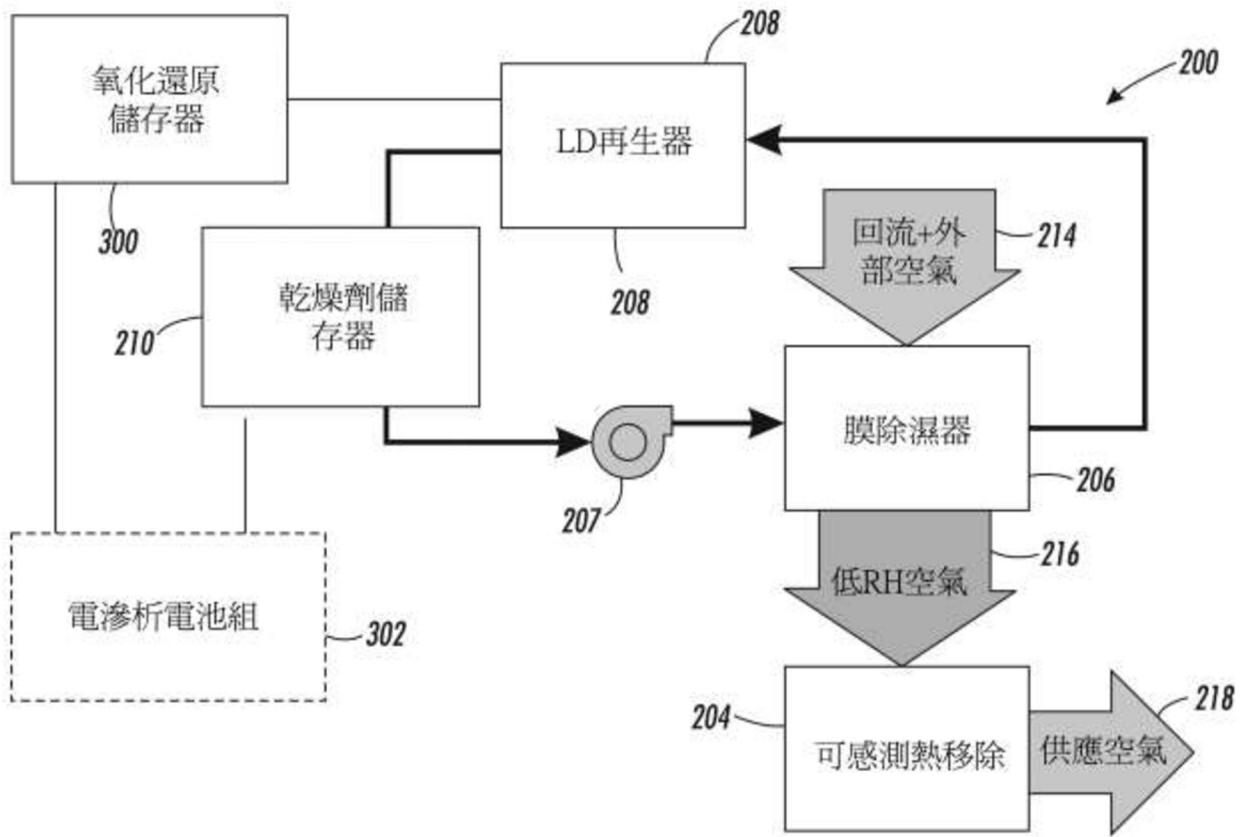
【圖 1】



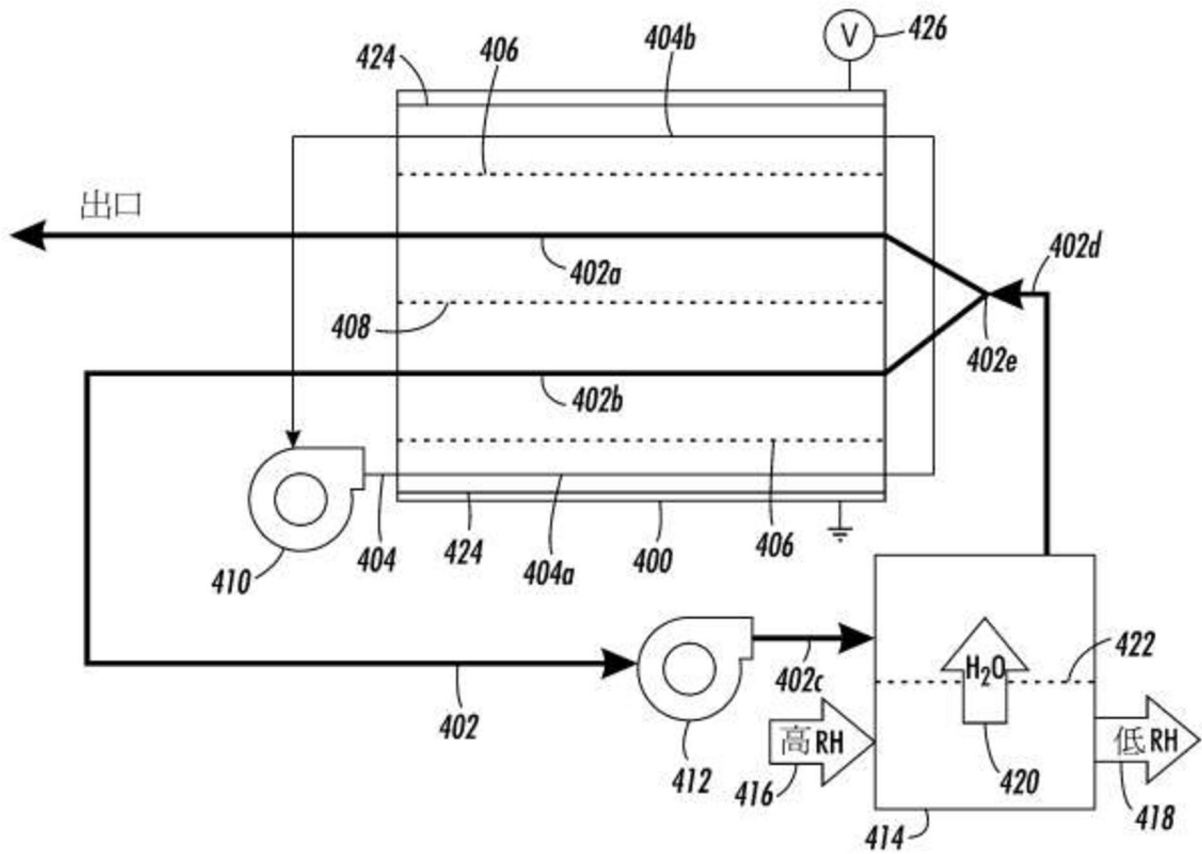
【圖 1A】



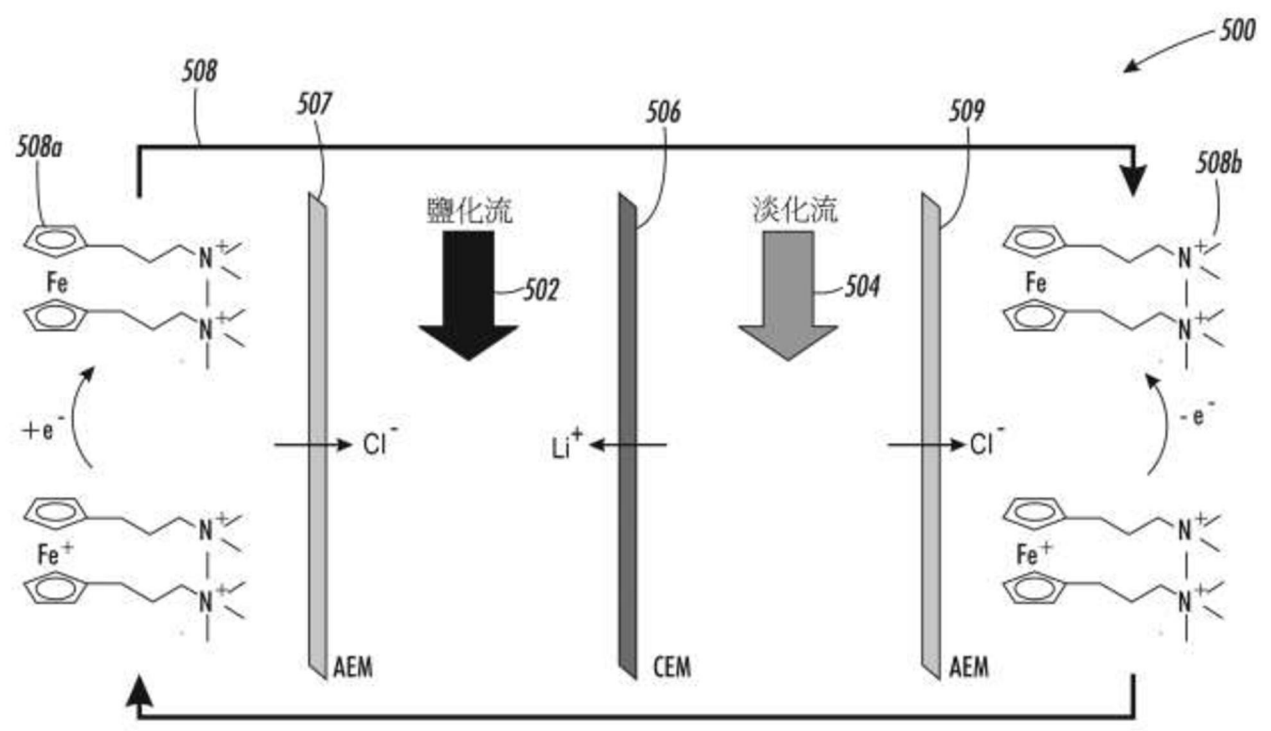
【圖 2】



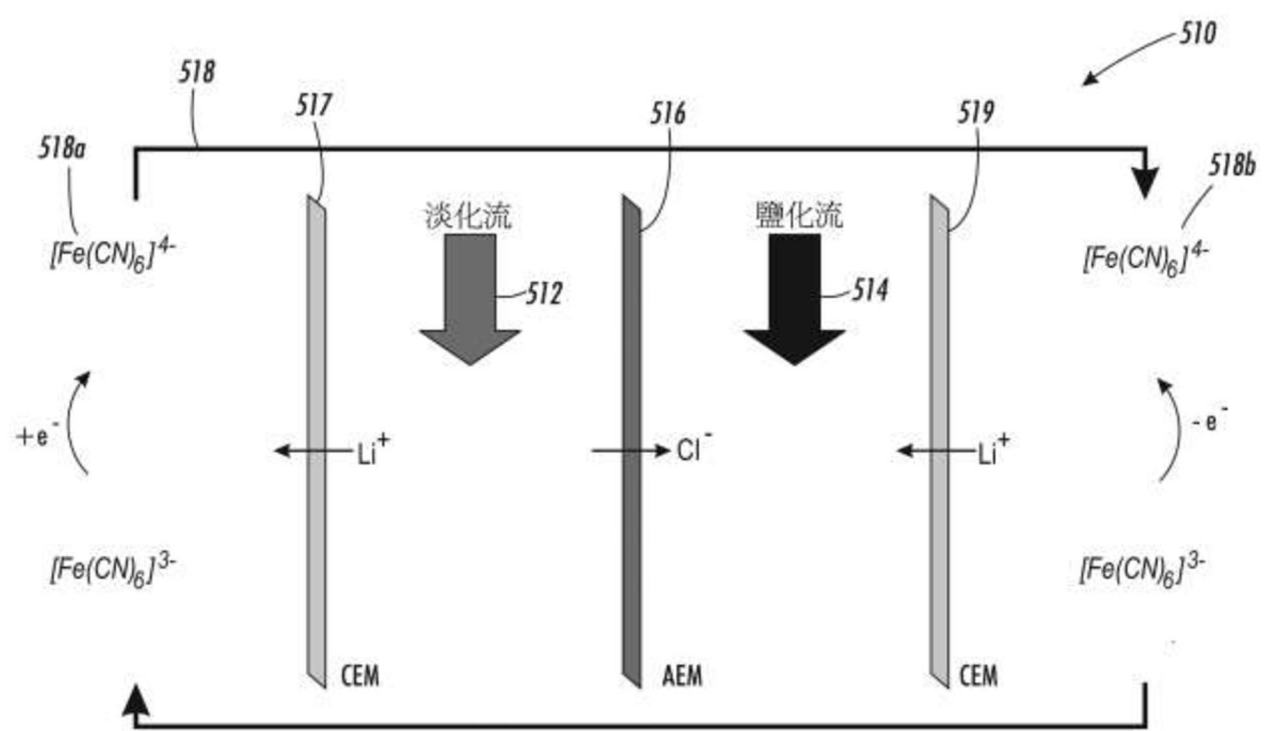
【圖 3】



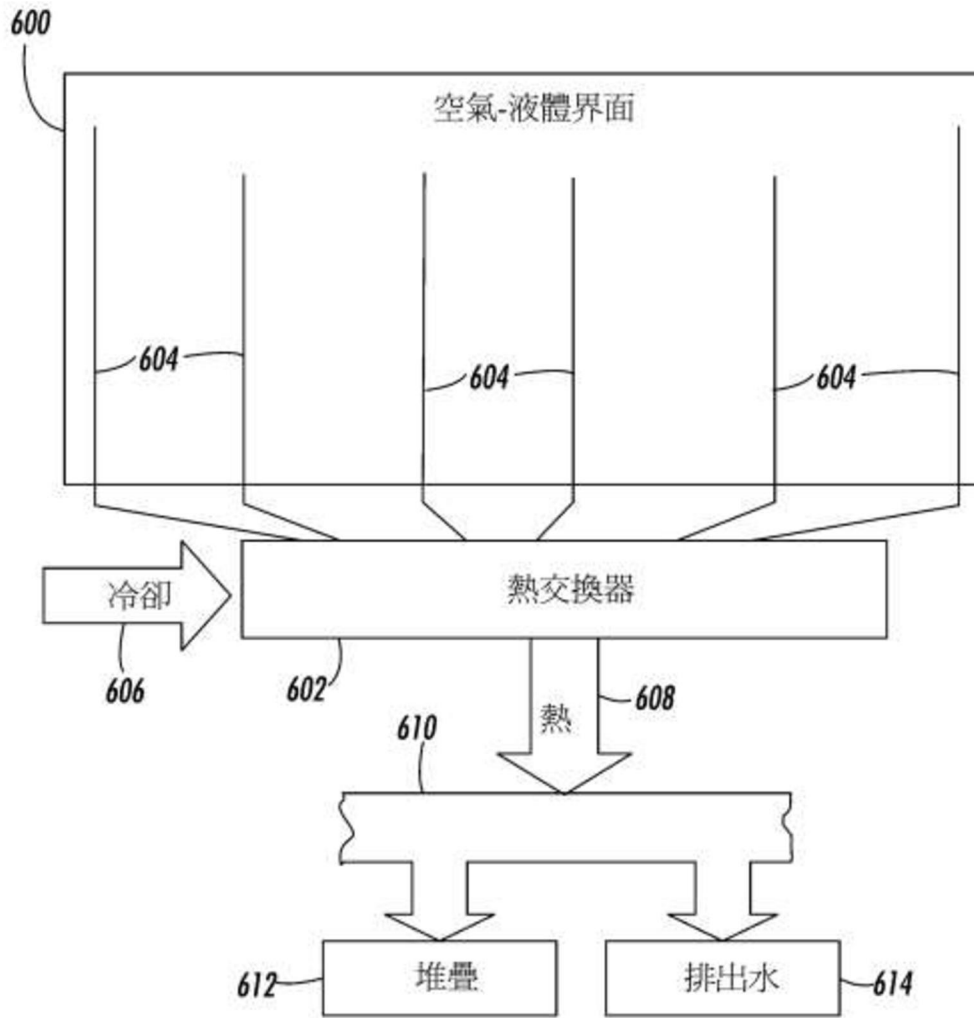
【圖 4】



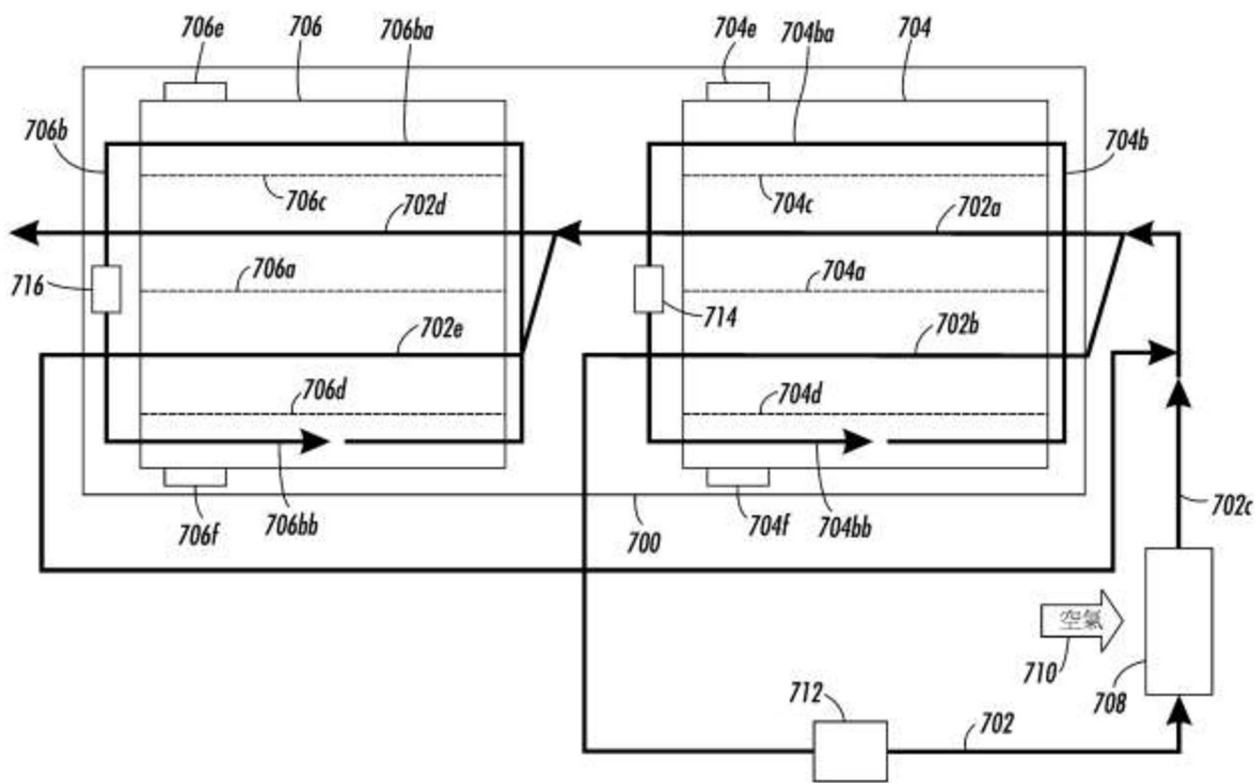
【圖 5A】



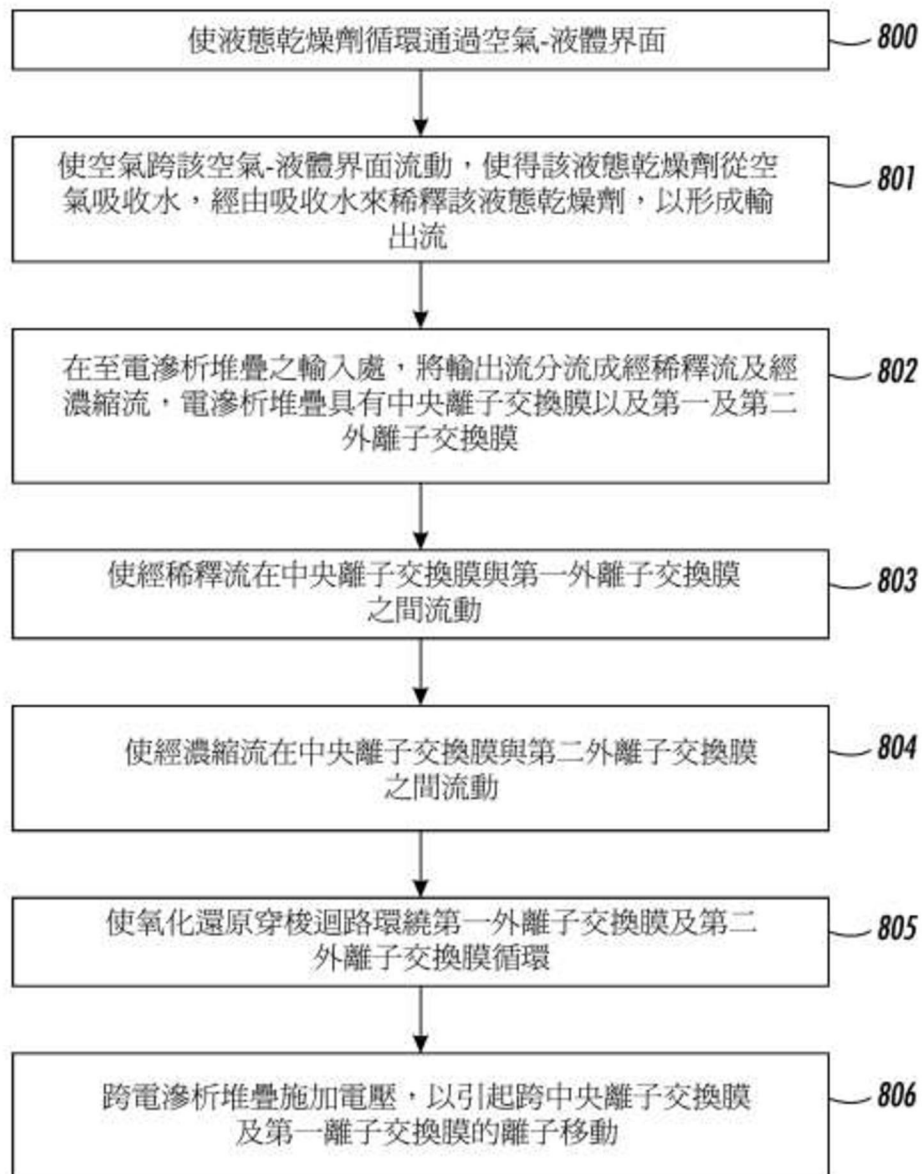
【圖 5B】



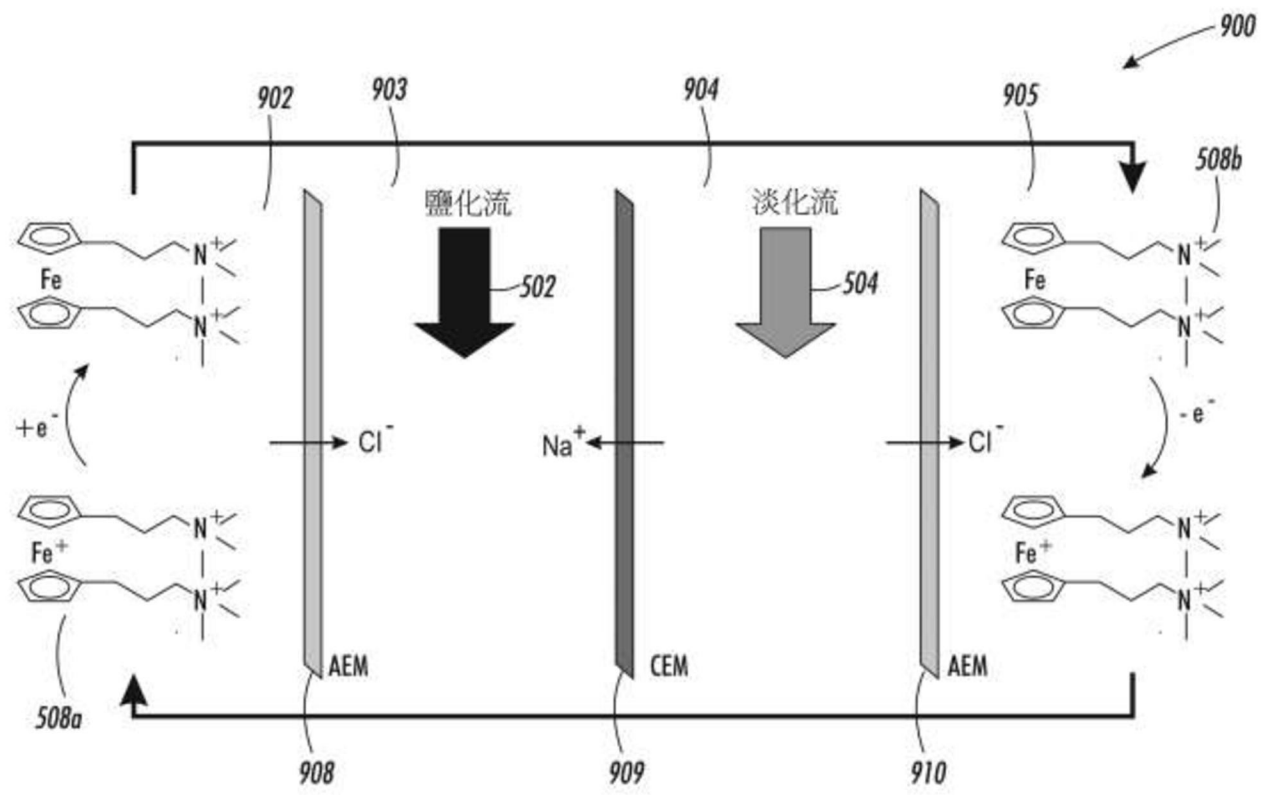
【圖 6】



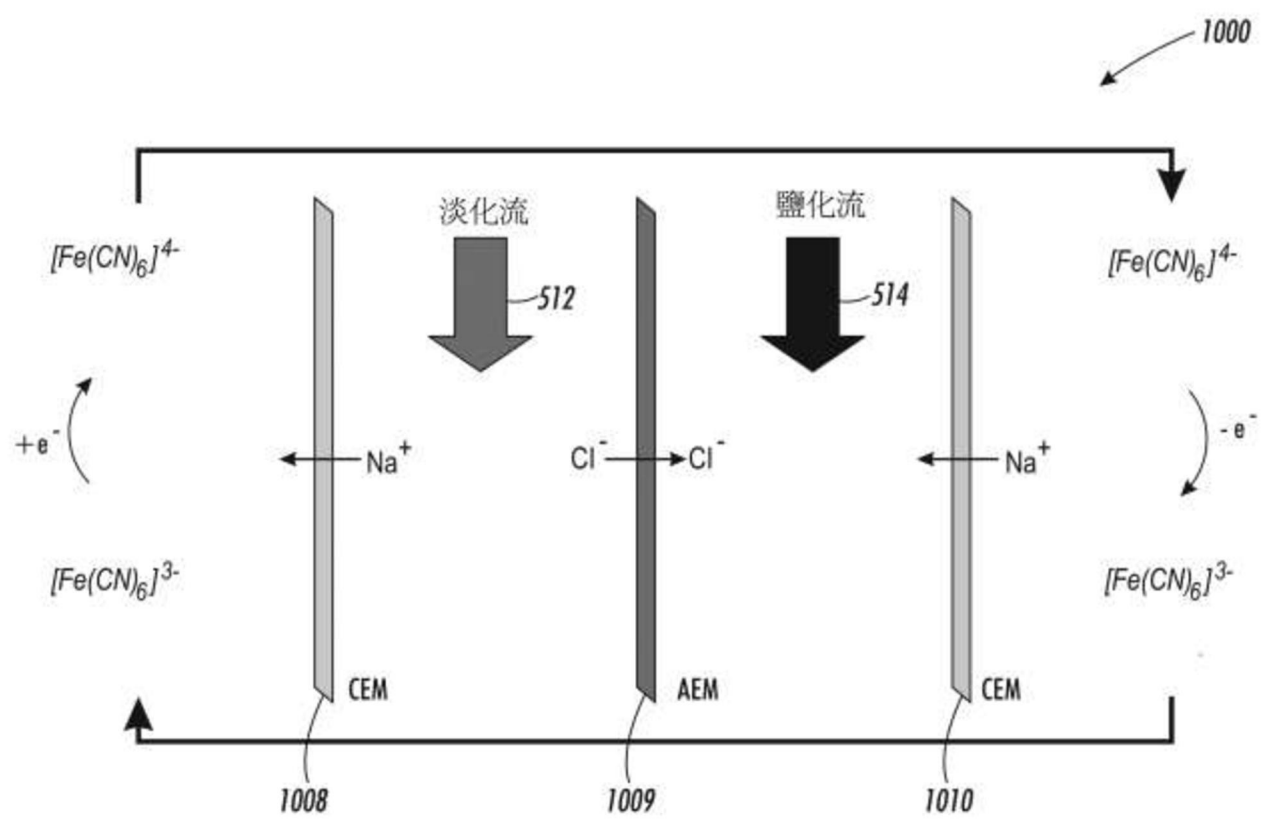
【圖 7】



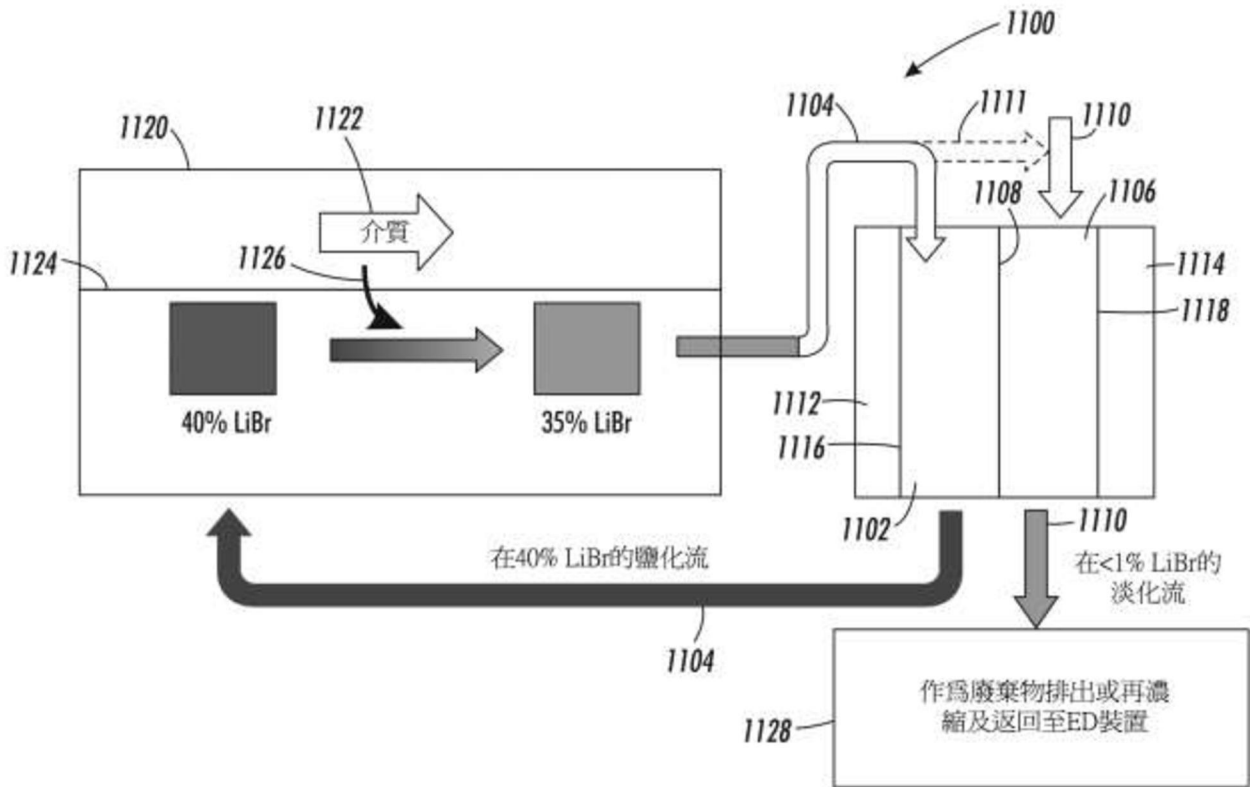
【圖 8】



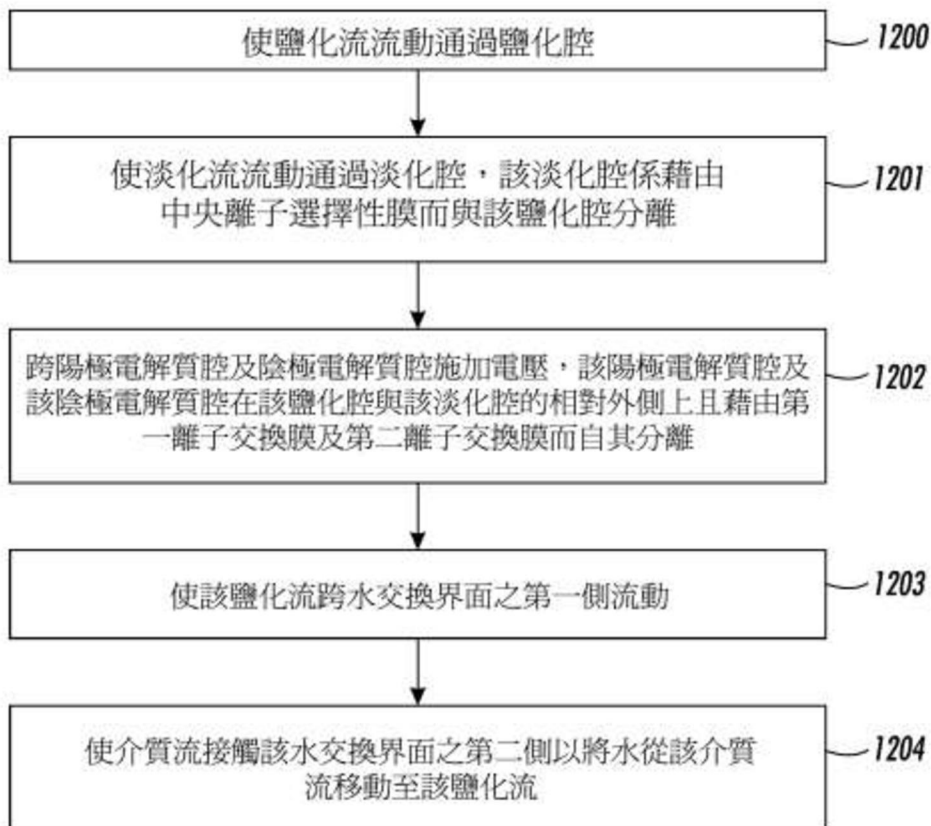
【圖 9】



【圖 10】



【圖 11】



【圖 12】