

# 專 論

## 海水變淡水之方法及製造之成本

### The Method and the cost of sea water demineralization

徐 玉 標 Shu Yuh-Piau

*Due to the increase of population and industrialization, water utilization has become a serious problem facing to the mankind. In many areas of the shortage of enough water resources is the main reason for restriction the population increase and developing industry. Since the importance of developing water resource, many countries have spent lots of money for finding new method of refining sea water. This paper is collected all reference for a further study purpose.*

#### (一) 前 言

十九世紀以前，人類居住區域中，由於天然水源供應不缺，同時工農業亦不够發達，所以對大規模海水變淡水問題，沒有多加注意。近百年來世界人口，迅速膨脹，爲了應付糧食增產之需要，農業耕作面積大量擴充，許多地區灌溉用水已漸成爲嚴重之問題。同時由於都市人口集中，工業、礦業發達之結果，對於家庭用水，工業用水，亦在急劇增加中。以美國而論，甘迺迪總統曾經在國會致詞中說過「1980年，全國用水量將增加一倍，至本世紀末將三倍於現在之用水量，但自然水源之供應，則將維持不變」。美國以外其他國家，據聯合國之調查估計，至少有百分之六十國家，今後即將遭遇到供水困難之問題，所以，大規模利用海水變淡水，作爲今後淡水供應來源之可能性，已逐漸引起各國之重視。目前各國已成立不少專門研究機構，從事海水變淡水各種原理方法及自然能利用之研究，研究方針可概括下列四項：

- (1) 研究海水變淡水所用一切可能之方法。
- (2) 建立示範工廠，研究如何降低生產成本而達實際可行之目的。
- (3) 從事核能、太陽能、地能、風能、海水溫度能及海潮能等控制與利用，作爲變水之熱源。
- (4) 交換及搜集各國最新之研究成果，以加速現展研究。至1960年，各國對低廉之方法使海水變淡水之研究，已獲有長足之進步，本文多半取材“Saline water Demineralization and Nuclear Energy in the California water plan”一書，對各種製造方法原理及生產成本作有系統之介紹，並對海水變淡水在大規模應用之可能性加以探討。

#### (二) 海水變淡水研究之發展

海水變淡水，在人類有史以前便已知道，其時祇不過是蒸餾技術較現在粗放而已。至於實際上將海水蒸餾作爲淡水之供給來源，還是在十八世紀蒸氣機推動汽船發明以後。陸地上最早最大規模用海水變淡水，是在1872年智利北部 Atacama 沙漠中，當時因銀礦開發，需要淡水，所以會利用太陽輻射能以蒸發玻璃溫室內之鹽水，根據文獻記載，每日最高產量曾達5,000加侖，並維持卅年之久。第二次世界大戰以後，中東之科威特 (Kuwait) 因油田開發，居民增加，淡水水源不敷需要，於1950年，建立一座日產6,750,000加侖之海水變淡之蒸餾工廠。1955年，西印度群島中 Aruba 島，亦設立一座日產3,500,000加侖中型變水廠，一方面生產淡水，一方面利用轉變能來發電，以降低淡水生產之成本。美國於1952年亦成立鹽水研究所 (Office of Saline water)，在聯邦政府經費補助下，以合約方式和各大學及各公私立研究機構合作，研究如何以實用而價廉之方法從海水或其它含鹽水水源中提取足供農業、工業、城市及其他消費之淡水。1958年，美國國會授權內政部，計劃於1964年內，分別在美國各地設立五座海水變淡之示範工廠，希望從各種不同製造方法中，以事實來判斷那種方法最經濟最實用。根據美國鹽水研究所之調查，自1960年底全球已有85所專門研究海水變淡水之機構，其中美國佔39所、英、法、日本各9所，其他分別設在印度、以色列、意大利、紐西蘭、瑞士、及澳洲、西班牙、南非等國。由此可見，海水變淡水之研究受各國重視之一斑。

廿年前，陸地上利用海水製造淡水之水量，每日

不過 2,000,000 加侖，但至 1960 年，已超過 24,000,000 加侖，製造技術方面，目前還是以蒸餾法為主，至於其他製造方法除電離法之外都還在研究階段。關於海水變淡水之方法很多，以目前研究進展之技術而言，有希望大規模採用之方法，計有蒸餾法、電解法、冰點法、滲透法、電離法、離子置換法、藥劑處理法、化學沉澱法，太陽輻射蒸發法等。此外，培植某種海藻以吸收海水中之鹽分使海水變淡水之研究，以及由鹽分結晶之性質形態來探討海水脫鹽最有效方法之研究，亦在研究不斷進展中。

### (三) 海水鹽分含量及成分與變成淡水後品質要求之標準

海水中含有相當數量之可溶性固形物及氣體，同時還有許多懸浮性之有機物存在。根據化學分析，已知有五十九種之元素存在於海水中。至於含鹽濃度，因地區位置之不同而頗有出入，大平洋沿岸平均為 33,600 P.P.M.，阿拉伯灣為 43,000 P.P.M.，紅海更高達 55,000 P.P.M.，但靠內陸之海灣，因受淡水河流歸注之影響，如波羅得海、黑海、平均不及 20,000 P.P.M.。然而一般海水鹽分含量，通常為 35,000 P.P.M. 即 3.5% 所以凡是鹽分濃度在 30,000~55,000 P.P.M 間之水質均稱為海水 (Sea water)。內陸海、鹽湖、或乾燥地區之地下水，鹽分含量在 1,000~30,000 P.P.M. 之間者，僅稱含鹽水 (Brackish)。海水變淡水之研究，以上兩種皆為研究之對象。

#### (A) 海水之化學成分：

海水之化學成分中，以鈉及氯離子佔最優勢，兩者合計佔海水總鹽分含量 84.4%，此外陽離子中含量較多者有鎂、鈣、鉀、陰離子有硫、溴、硼、矽等，其他微量元素中還包括稀有金屬或貴重金屬及放射性元素等。海水中因含有許多礦物成分，所以在海水變淡水之研究中，工程師及化學家們常常想法分離或抽取其所含之鹽分作為副產品，以減輕淡水製造之成本。例如食鹽除供食用外，已成為酸鹼工業上不可或缺之原料，如氯、鹽酸、氫氧化鈉、碳酸鈉等類，原料都是食鹽。鎂可用來製造 Dwalumin (用來製造飛機之一種堅固而輕之合金)，鈦用於煉鋼爐，製造肥料。溴用於染料，醫藥及用於汽油防震之四乙烷基鉛之製造等。其他硼、氟、鋇、碘皆為工業及醫藥上重要原料。然而，此種想法，在目前僅屬希望而已，因為以目前之科學技術，提取海水中礦物，必須再加大量之投資，所以想從副產品方面來減輕淡水製造之成本，目前無此可能。雖然如此，但仍不失為將來減輕淡

水製造費之一研究路徑。茲將海水之化學成分及其對各種礦物之蘊藏量列如表 (一)、(二)，藉以明瞭海水之一般性質。

(表一) 海水中各種元素含量濃度 (可溶固形物 PPM)

| 元素 | 濃度 (ppm)     | 微量元素 | 濃度 (ppm)                    |
|----|--------------|------|-----------------------------|
| 氯  | 18,980       | 碑    | 0.01 ~ 0.02                 |
| 鈉  | 10,561       | 鐵    | 0.002 ~ 0.02                |
| 鎂  | 1,272        | 錳    | 0.001 ~ 0.01                |
| 硫  | 884          | 銅    | 0.001 ~ 0.01                |
| 鈣  | 400          | 鋅    | 0.005                       |
| 鉀  | 380          | 鉛    | 0.004                       |
| 溴  | 65           | 硒    | 0.004                       |
| 碳  | 28           | 銻    | 0.002                       |
| 鋇  | 13           | 鈾    | 0.0015                      |
| 硼  | 4.6          | 鉬    | 0.0005                      |
| 矽  | 0.02 ~ 4.0   | 鈦    | 0.0005                      |
| 氟  | 1.4          | 鈾    | 0.0004                      |
| 氮  | 0.01 ~ 0.7   | 銀    | 0.0003                      |
| 鋁  | 0.5          | 釩    | 0.0003                      |
| 鉀  | 0.2          | 鎳    | 0.0003                      |
| 銻  | 0.1          | 鈷    | 0.0003                      |
| 磷  | 0.001 ~ 0.01 | 鎳    | 0.0001                      |
| 鋇  | 0.05         | 鈳    | 0.00004                     |
| 碘  | 0.05         | 汞    | 0.00003                     |
|    |              | 金    | 0.000006                    |
|    |              | 鐳    | 0.2 ~ 3 × 10 <sup>-10</sup> |

(表二) 一立方哩海水礦物蘊藏量

| 礦物       | 重量 (噸)      | 礦物         | 重量 (噸)       |
|----------|-------------|------------|--------------|
| 氯化鈉 (食鹽) | 120,000,000 | 氟          | 6,400        |
| 氯化鎂      | 18,000,000  | 鋇          | 900          |
| 硫酸鎂      | 8,000,000   | 碘          | 100 ~ 12,000 |
| 硫酸鈣      | 6,000,000   | 砷          | 50 ~ 350     |
| 硫酸鉀      | 4,000,000   | 鉀          | 200          |
| 碳酸鈣      | 550,000     | 銀          | < 45         |
| 溴化鎂      | 350,000     | 銅, 錳, 鋅, 鉛 | 10 ~ 30      |
| 溴        | 300,000     | 金          | < 25         |
| 鋇        | 60,000      | 鐳          | 1/6 盎斯       |
| 硼        | 21,000      | 鈾          | 7            |

#### (B) 淡水品質要求之標準：

淡水品質要求之標準可分為家庭用水 (即都市及工業用水) 與農業灌溉用水兩大類，前者要求較為嚴

格，規定水中可溶性固形物總量不得超過1,000PPM，後者視水源情形，限制較寬，有時雖達3,000PPM以上，仍有用於灌溉者。茲將兩者訂定標準錄如下表：

(表三) 美國公共衛生局對家庭用水水質訂定之標準表

| 水質成分         | 明文規定限制標準 (ppm)    |
|--------------|-------------------|
| 鎊            | 0.1               |
| 氟            | 0.5               |
| 砷            | 0.05              |
| 錳            | 0.05              |
| 六價鉻          | 0.05              |
|              | 非明文規定但勸告限制標準(ppm) |
| 銅            | 3.0               |
| 鐵、錳含量        | 0.3               |
| 鎂            | 125               |
| 鋅            | 15                |
| 氯            | 250               |
| 硫            | 250               |
| 酚及酚類化合物      | 0.001             |
| 可溶性固形物(適當)   | 500               |
| 可溶性固形物(最高含量) | 1,000             |

(表四) 灌溉水品質等級表

| 化學性質                    | 第一級<br>優良至良好 | 第二級<br>良好至有害 | 第三級<br>有害至不可用 |
|-------------------------|--------------|--------------|---------------|
| 編固形物重 (ppm)             | >700         | 700~2,000    | <2,000        |
| 電導度 (micromhos/cm 25°C) | >1,000       | 1,000~3,000  | <3,000        |
| 氯 (ppm)                 | >175         | 175~350      | <350          |
| 鈉 (佔陽離百分數)              | >60%         | 60~75%       | <75%          |
| 硼 (ppm)                 | >0.5         | 6.5~2.0      | <2.0          |

表(三)係美國公共衛生局於1964年訂定之標準，若水中某種或數種元素，超過明文規定限制標準量時，應嚴加禁止，不准飲用。如果是非明文規定之某些元素超過規定限量，應設法除去超過部份，使合標準，然後才可供家庭飲用。至於灌溉用水，大致可分三等級，然一般限制並不是很嚴格，往往有許多在甲地認為不可用之灌溉水，却能完全適用於乙地。水質判定之標準，主要是依照當地農田環境，如土壤質地

，土壤滲透性，排水情況、氣溫、濕度、雨量以及栽培作物之種類而定。

#### (四) 海水變淡水之方法

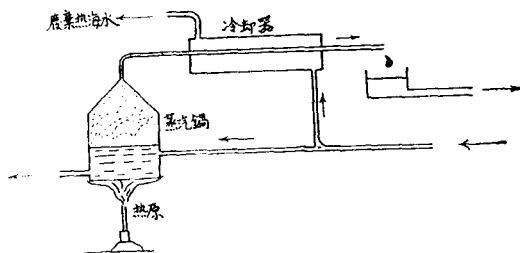
海水變淡水目前已知之方法約有十餘種，但在製造過程中，因脫鹽時所需要能 (Energy) 方式之不同，大體可分兩大類；(A) 淡水製造過程中所需要各種能量與海水原有鹽分濃度無關，包括有：多種蒸餾法 (Multiple-effect distillation)，多階段急驟蒸餾法 (Multistage flash dish distillation)，超臨界蒸餾法 (Supper critical distillation)，真空急驟蒸餾法 (Vacuum flash distillation)，太陽能蒸餾法 (Solar distillation)，蒸汽壓縮蒸餾法 (Vapor compression distillation)，冷凝法 (Freezing)，反滲透法 (Reverse osmosis) 等。(B) 製造過程中所需要能量之多少與原來海水鹽分濃度有關。如電解法 (Electrolysis)，電離法 (Electrodralysis)，離子置換法 (Ion exchange)，化學沉澱法 (Chemical Precipitaton) 等。茲將各種製造方法原理，分述於下：

##### (A) 蒸餾法：

熱能蒸餾法是最古老亦是應用最廣之一種方法。目前世界各地，約有90%以上是用蒸餾法從海水蒸餾淡水。其原理很簡單，就是將海水煮滾，收集凝聚之水蒸汽而成淡水。不但因製造過程中，蒸發熱能收回再利用之方式不同，工程設計上已經被採用者，有下述諸種之方法：

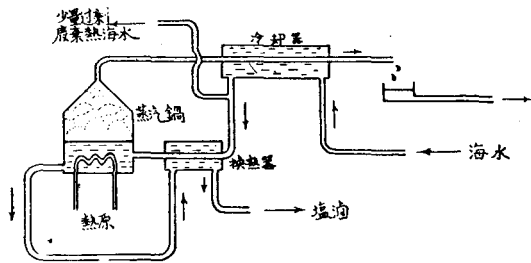
##### (1) 單一蒸餾法 (Simple Pistillation)

單一蒸餾法如圖(一)所示為最原始最粗放之蒸餾方法，此種蒸餾法耗費熱源最大，據估計約等於理論上所需最少熱能之800倍。



(圖一) 單一蒸餾法之基本裝置

圖(二)係將蒸餾汽冷卻時之轉變能及廢棄海水熱能收回一部份再予利用，使熱源消耗上遠較圖(一)設計者為經濟。

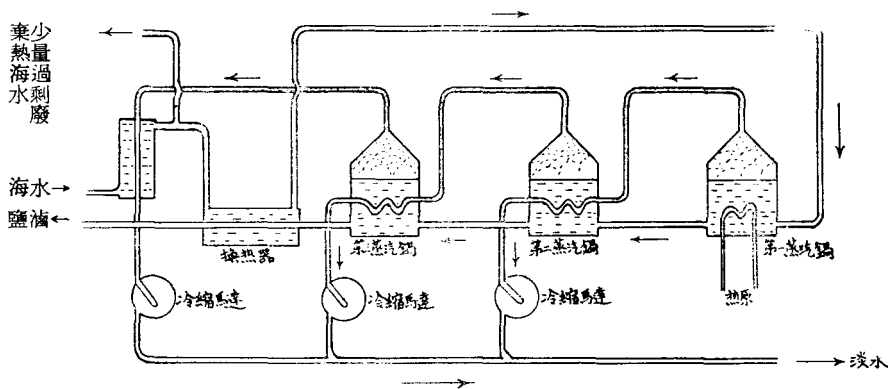


(圖二) 單一蒸餾法利用冷却器及換熱器餘熱之裝置

## (2) 多層蒸餾法 (Multiple-effect Distillation)

多層蒸餾法係目前大規模利用海水變淡水之主要方法。設計裝置如圖(三)，在海水未進入第一層蒸汽鍋加熱以前，先通過冷却器及換熱器吸收蒸汽熱及廢棄海水餘熱，然後導入第一層蒸汽鍋中，用熱源加熱至  $160^{\circ}\text{C}$ ，其蒸汽則在第二層蒸汽鍋中冷却後收集之。同時第一層蒸汽鍋經蒸濃之海水進入第二蒸汽鍋時，其時溫度壓力稍低，自但仍能沸騰蒸發，如是經過第三、四層，利用減壓蒸發，至最後一層蒸發之蒸汽，用將進入第一層蒸汽鍋之海水冷却收集之。

本法可以連續採用多個蒸汽鍋，一般以三個最為普通，如採用六個蒸汽鍋之設計時，所生產淡水成本將較採用三個者可減輕50%，輪船為節省艙位，多用此法取得淡水。



(圖三) 多層蒸餾系統

多層蒸餾法之淡水成本，Sonderman 氏從西印度群島 Aruba 島新近建立一座六層蒸餾法，日產 2,700,000 加侖之工廠中計算結果，平均每 1000 加侖為美金 1.75 元 (每呎/噸合 470 元)。其中燃料佔 0.8 元，操作維持費 0.3 元，設備投資 0.65 元。如果工廠規模再行擴大，同時利用蒸汽供發電用途，預計生產成本

將可降至美金 1.0 元千加侖，即呎/噸 326 元。

## (3) 真空急聚蒸餾法 (Vacuum Flash Distillation)

真空急聚蒸餾法之原理係將加熱後之海水，在蒸發罐中維持低於沸騰以下之壓力，使一部分水立即沸騰急聚蒸發而成蒸汽，餘下之鹽滷通過第二個蒸發罐，同時提高其真空度，產生更多之蒸汽，如是通過每一蒸發罐後，海水鹽分已逐漸變濃，最後排出。其蒸發之蒸汽熱由初進海水吸收冷凝，而成淡水，再由淡水收集槽收集之。本法可以利用許多個蒸發罐，迄 1960 年止，大規模製造淡水其蒸發罐多在 12~30 個之間，最近計劃在聖地亞哥建立一座 36 個蒸發罐之海水變淡工廠，預計日產百萬加侖，圖(四)為利用原子能為熱原之真空急聚蒸餾系統。

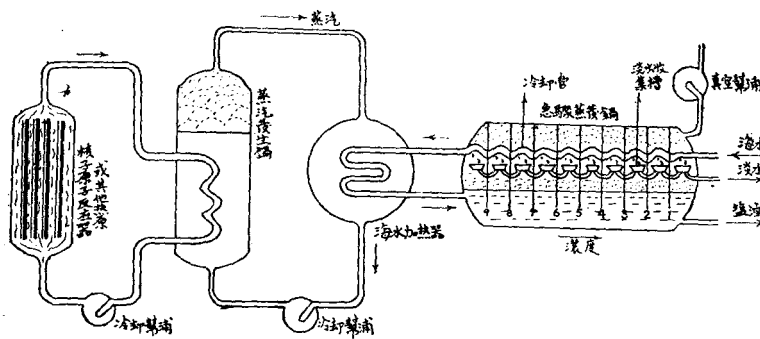
真空急聚蒸餾法可以利用海水本身所蘊藏之能量來完成，不必另外再耗費成本高昂之其他熱原。其條件祇要有兩種溫度不同，相差  $27^{\circ}\text{F}$  以上之海水即可。溫度不同之海水，其取得之方式有二種，一種是製造工廠恰設在寒暖海流交匯之處，另一種是從海洋下 2,500 呎處取得較冷海水。製造時係將海洋表面之暖海水送入高度真空水箱中，其時有少部份海水在低壓下汽化蒸發，然後將蒸汽導入金屬管中，用另外之冷海水冷却之而成淡水。此種利用海水本身所蘊藏之熱能以製造淡水，目前在美國加尼佛里亞大學進行試驗中，並計劃建造一座日產 3,000 加侖之試驗工廠。此法

在緯度較低之海洋，日照強之熱帶地區效果更大。

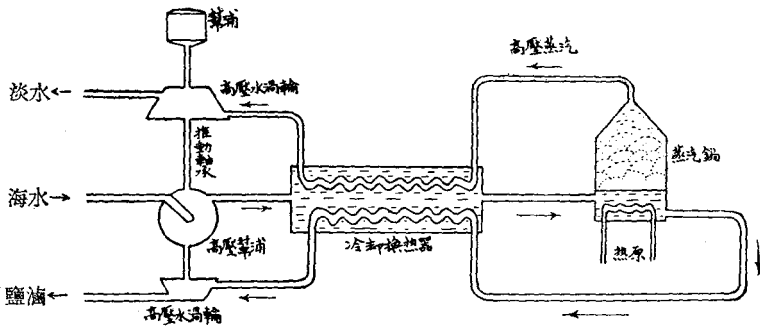
## (4) 超臨界蒸餾法 (Super-Critical distillation)

根據物理學之原理，任何液體在臨界狀態下，僅加少量之能便可使液體汽化而成蒸汽。水之臨界壓力為 3,206 磅/吋，臨界溫度為  $705^{\circ}\text{F}$ ，超臨界蒸餾法便是利用高溫高壓使

海水在蒸騰狀態下凝結成淡水之一種方法。圖(五)為本法蒸餾設計系統，在製造時，先將海水用超過 3,206 磅/吋之壓力送入冷却換熱器中吸收蒸汽冷凝時所放出之熱能，然後導入蒸汽發生鍋中加熱，使海水溫度略超過  $705^{\circ}\text{F}$ ，其時鍋中海水成蒸騰狀態，大量高壓蒸汽送入冷却換熱器中冷凝成水，冷凝後之水仍具有高



(圖四) 多階段真空急驟蒸餾裝置



(圖五) 超臨界蒸餾法設計系統

壓，可以作為推動軸承之動力來源，至於餘下之鹽滷亦送入冷卻換熱器中，留下餘熱後，其高壓力亦可作為動力之來源。圖(五)最頂端之幫浦係補充動力，使軸承轉動能產生3206磅/吋之壓力。

超臨界蒸餾法所消耗能量低，蒸餾水量大，然至目前止，尚有許多技術上之問題還未完全解決：

a. 高熱海水之腐蝕性極大，目前還未有適當金屬合金作為換熱器及蒸汽鍋之材料。

b. 還未有適當方法以防止或減低罐垢迅速形成。

c. 製成淡水後，水中所留之高熱高壓及鹽滷中之高熱高壓用作軸承推進器之動力來源，技術上尚未完全解決。上述三種問題，目前正在研究改善中。

### (5) 蒸汽壓縮蒸餾法 (Vapor Compression Distillation)

蒸汽壓縮蒸餾法係根據氣體遇冷收縮過熱膨脹之原理而設計。壓縮蒸汽可以發生大量熱能，本法便是利用壓縮蒸汽所產生之熱能，作為海水蒸餾時之熱源。圖(六)為蒸汽壓縮蒸餾法設計系統。當海水進入熱交換器中吸收蒸汽冷凝成水時所釋放之熱能後，再利用高壓，打進蒸汽鍋中吸收蒸汽壓縮所放之熱能，而使海水沸騰蒸發，蒸發後之蒸汽通過壓縮器，其時所

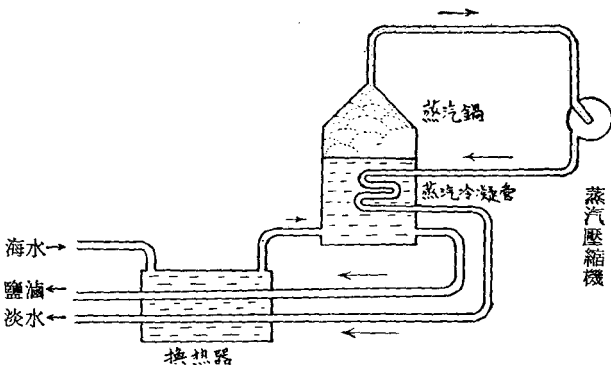
產生熱能又可供海水蒸發用，如是能之轉變，便可不斷製造淡水。

本法製造淡水，其熱能取自海水本身，所以除補充少量熱能供操作上必要之消耗外不需要另外熱源，可以大量減輕製造成本。唯一缺點是建造工廠費用高，最近Dr Kenneth C. D. Hickman氏已研究改善，可降低投資成本。目前已有一座日產50,000加侖之工廠正式生產，供商業上用途。

### (6) 太陽蒸餾法：

利用太陽光線來蒸發海水是一種最古老的方法。早在1870年南美智利曾用此法大規模製造淡水。太陽蒸餾如果在熱帶乾燥氣候，日照強之環境下，每日可以均衡得到相當之產量。然而，此種蒸餾法有如下之缺點：

1. 製造淡水之效率低，同時夜間不能利用。
2. 佔地面積大，以加州之氣候環境而言每日製造一加侖淡水，需八平方呎垂直溫室面積。
3. 因單位面積生產淡水量低，相對提高了投資設備。

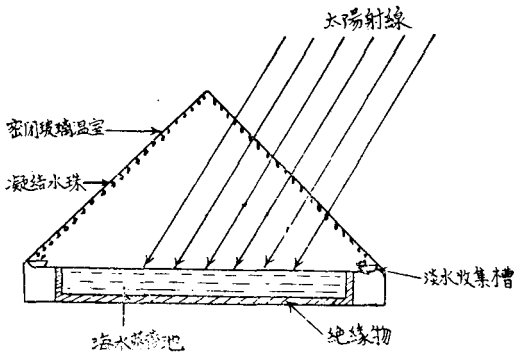


(圖六) 蒸汽壓縮法蒸餾系統

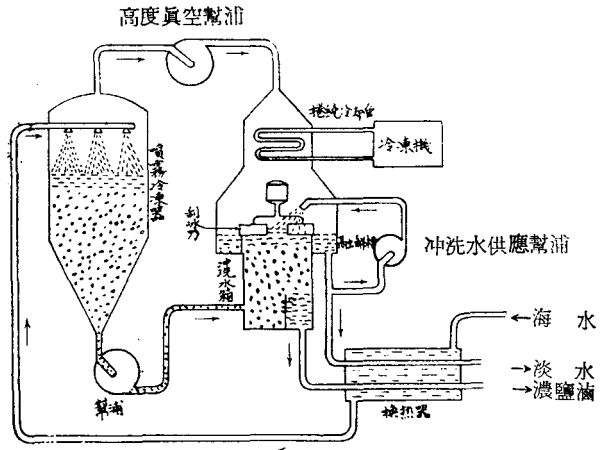
但其優點製造技術簡單，維持費低，能量來源無限。在美國加州大學近年來已設計各種不同型式之設備，以提高製造淡水效能，他如美國鹽水研究局，紐約大學也在進行研究。世界各地如阿爾及尼亞、澳洲、塞浦魯斯、意大利等國，均有半商業化利用此法之蒸餾工廠。惟大規模製造未見實現。

根據加州大學之試驗結果，在加州之緯度下，一

英畝面積之太陽照射面每年僅能收集4呎/呎之水量。每日產一加侖之水量需要10元美金之設備投資，其成本較其他蒸餾法為高。



(圖七) 太陽能蒸餾法設置裝置



(圖八) 冷凝法設計裝置

(B) 冷凝法 (Freezing process)

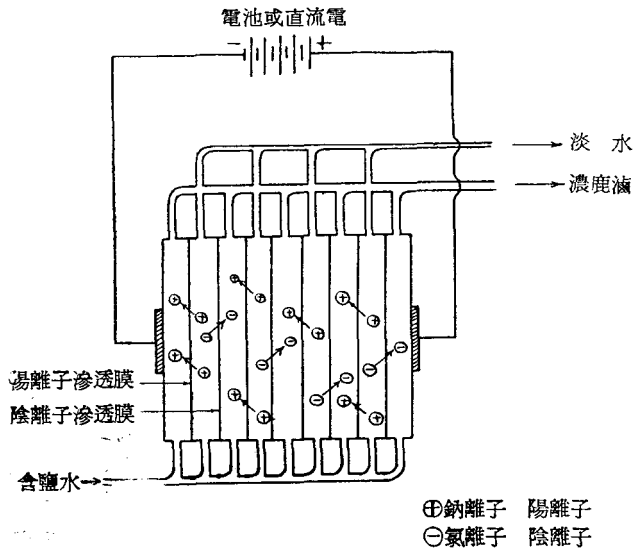
海水冷凝冰凍時，其純水部分結冰，餘下便成鹽滷，因水融解熱能僅為蒸發熱七分之一（一克 $^{\circ}\text{C}$ 水成冰僅釋放80卡熱量，而一克 $100^{\circ}\text{C}$ 水蒸發成蒸汽要吸收530.6卡）所以冷凝法所需用之能量較蒸餾法為低。目前，冷凝法還不能達商業化之程度，最主要之原因就是當結冰時，有少部鹽滷夾雜在冰結晶體之間，需要一部分淡水沖洗，以致淡水之收回率低，而提高成本。因此，冷凝法就是要求如何以合乎經濟之方法把淡水結晶體和鹽滷分開，迄目前止，已有四種分離方法，正在研究進行中。

1. 加壓力於淡水結晶體間，使鹽滷流出。
2. 離心機分離，並用淡水洗滌結冰部分。
3. 沿結晶罐外壁用可移動之熱環帶誘導夾雜之鹽滷下降至結晶罐底部而分離之。
4. 利用一部製成淡水沖洗之。

上述諸法中，用離心機分離鹽滷，正在研究，頗有前途。不過目前祇有利用一部製成之淡水，逆流沖洗結晶體，其生產量可達海水量之五分之一。其他諸法更低。圖(八)係利用淡水沖洗結晶冰塊之冷凝法設計系統。製造時首先將海水進入換熱器中冷卻之，再導入真空噴霧冷凝室中，冷凝室之溫度為 $24^{\circ}\text{F}$ ，真空壓力為水銀柱高3mm，其時約有50%海水結冰，餘下為濃鹽滷，將結晶體移入沖洗槽中用淡水蒸汽沖洗，純水結晶冰塊上浮，溶解成水而與鹽滷分離而

(C) 電離法 (Electrodialysis)

用電離法從海水或含鹽水製造淡水之技術，近年來有長足之進步。並且已發展成為主要淡水製造方法之一。1955年中東 Bahrein 已建造一座日產86,400加侖工廠，1960年南非聯邦亦進行建造日產2,800,000加侖之淡水工廠，以供家庭用水及工業用水。目前已知道利用電離法製造淡水之數量，各地合計，已達6,000,000加侖/日。(圖九)係表示電離法製造淡水之過程。當含鹽水或海水通過滲透膜中間時，接通直流電或電池，水中鹽分便起電離作用，鈉離子或其他陽離子吸附於陽離子可以通過之左邊滲透膜，氯離子或陰離子則向右邊陰離子滲透膜通過，如是，陰陽離子分別通過正負兩極滲透膜，到最終點，約有85%以



(圖九) 電離法

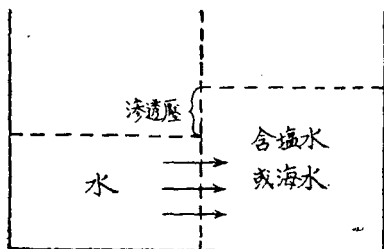
上之鹽分分離，而得到含鹽分頗低之淡水。

到目前為止，電離法製造成本中，滲透膜更換費要佔50%，最近研究利用塑膠質滲透膜，成本費用較低，同時可以延長使用壽命。故將來製造成本可以進一步降低。電離法費用能量是視含鹽水中電解質含量多寡而定，此點與蒸餾法所需要能量是依所生產淡水量來決定完全不同。亦是其最大優點。因為許多缺乏淡水地區，却有比淡水含鹽較高之「鹽分水」(Brackish water)，用電離法稍加脫鹽(Demineralization)，便可得到可以利用之淡水，所耗成本不高，所以本法用在農業灌溉方面最為合適。

#### (D) 逆滲透壓法 (Reverse Osmosis)

滲透壓之原理，當兩種不同濃度之溶液中間以滲透膜隔離時，濃度較稀之一方，其水分子便能穿過滲透膜向較濃之一方擴散，直到兩者液面之高低，足以抵抗較濃溶液所呈之滲透壓時為止。

逆滲透壓便是利用壓力加於較濃溶液之一方，迫使較濃溶液中之水分子向較稀之一方滲透，海水變淡水亦可用此法進行。



根據試驗證明，祇要加370磅/吋，壓力於海水一邊，其純水部分便可向淡水一方滲透，利用此種理論所製成之淡水，設備及技術都很簡單，將來成本不致很高。目前所困難者是滲透膜在高壓下之壽命問題及不能大量生產。最近美國加州大學針對此二問題着手研究探討及謀改善。

#### (E) 其他方法：

##### (1) 離子置換法 (Ion Exchange)

離子置換法用於家庭及工業用水之「軟化」(Softener)處理，已普遍被採用。其製造程序至為簡單，可分「雙床式」或「混合床式」兩種，前者將海水或含鹽水先後通過陽離子及陰離子兩種交換樹脂床 (Ion Exchange resin bed) 以除去電解質，便得純水，後者將陰陽離子交換樹脂混合為一床，鹽水通過時，電解質便附在樹脂床上，濾過之水即為純水。離子置換法用於鹽分含量低之工業廢水或軟化之處理，因交換離子量少，水之純度高，至為理想。但如

果用在鹽分含量達3.5%之海水上，樹脂床有被迅速飽和之缺點，如將樹脂重新活化(Regeneration)，勢須消耗大量之酸或鹼，因而增加成本，所以在離子交換樹脂重新活化之技術未得改善以前還不能利用海水來大規模生產淡水。

##### (2) 有機溶劑抽出法 (Organic Solvent)

將某種有機溶劑投入海水或含鹽水中以吸取水分，然後利用溫度之不同以分離或發揮溶劑而得純水。最近美國 Texas 州農學院與機械研究所對這方面曾作聯合研究，已得到很大之進展。所以對將來實際大規模生產之可能性甚大。

關於有機溶劑，各方面研究結果，均沒有公開發表。惟對溶劑之選擇：第一溶解度對溫度有敏感之變化。第二在海水中對水分有高度之吸收性。此二種條件，為最基本之要求。

##### (3) 沉澱法 (Precipitation)

利用化學藥劑將海水中可溶性鹽分轉變為不溶性之化學成分，再用沉澱法或過濾法分離之。本法在實驗室中可用高價之藥品處理達成，但對大規模使用，藥劑之價格必須低廉，同時還要可逆性，能再度應用才有希望，這一方面目前正在研究，惟並無重要發展之發告。

##### (4) 藻類試驗 (Algae Experiments)

生物學家發現，許多藻類在海水中能吸收鹽分，因此在海水中培植某種藻類以製造淡水亦已成為海水變淡水研究方法之一。最近加州大學及其他研究機構對此方面，亦極力研究，目前已培養出幾種藻類，在10%海水濃度中藻體中能吸收兩倍於培養液中鈉之含量。預卜將來利用藻類繁殖來達成海水變淡水之目的，亦有其可能性。

#### (四) 海水變淡水製造成本

海水變淡水之製造法，迄目前為止，還是以蒸餾法為主。用蒸餾法製造淡水所需要之最少理論能量，每千加侖為3瓩/小時，或是每一畝/呎975瓩/小時。但實際上，以目前之蒸餾技術而言，往往需要四倍於理論能量，同時加上輸送能量每千加侖約需一瓩/小時計，欲從海水中製造1,000加侖淡水，所需要能量至少要有13瓩/小時，以每瓩/小時能量值美金1分計，則千加侖淡水單是能量成本費，最低為0.13元（每畝/呎42元）。如將建廠設備投資，機械折舊及操作管理維持費計算在內，其成本將數倍於能量消耗之成本。茲將目前各地已經建造，正式投入生產之工廠，

其淡水製造實際成本以及將來可望降低之成本分述如下；

(A) 目前正式生產各工廠之製造成本

近十年來，世界各地已經建造且投入生產之變水工廠有35所，其中利用海水蒸餾法製造有20所，電離法有1所。利用含鹽水製造14所，其中13所用電離

法，1所用蒸餾法，總共每日產量24,000,000加侖。各工廠因規模大小之不同，勞力工資之高低，燃料油料之價格等有很大的差異，每1,000加侖淡水成本自0.63~3.0元即每一噸/呎在205~977元之間，相差達五倍之多。下表從各地不同製造法之變水工廠目前生產淡水之實際成本。

(表五) 各地區各種不同製造方法淡水生產之成本

| 製造方法     | 工廠所在地       | 工廠生產能力<br>(加侖/日) | 水源           | 成本<br>(1,000加侖) |
|----------|-------------|------------------|--------------|-----------------|
| 多層蒸餾法    | Aruba       | 2,700,000        | 海水           | 1.75            |
| 多階段急驟蒸餾法 | 科特威         | 2,400,000        | 海水           | 0.63~1.87       |
| 蒸汽壓縮蒸餾法  | —           | 100,000          | 海水           | 1.85~3.00       |
| 多層蒸餾法    | 加州Morro Bay | 150,000          | 海水           | 2.50            |
| 電離法      | 加州科林加       | 28,000           | 含鹽水(2000ppm) | 1.45            |

資料來源：Department of water Resources. State of California Bulletin No. 93.

根據美國鹽水研究所調查研究之結果，在目前還不能肯定斷定那一種方法最實用最低廉，由於試驗研究方面有不斷之進步，僅能證明有此現象：即變水工廠之規模愈大，每日生產之淡水愈多，則其成本愈低廉。再者電離法製造淡水時，其水源中鹽分含量愈低，而生產規模大者，亦可顯然降低成本。茲將該所調查研究結果錄表如下；

(表六) 蒸餾法工廠規模大小與淡水生產成本比較

| 工廠 | 工廠生產能力<br>(加侖/日) | 投資額<br>(U.S. dollars) | 每日生產每<br>加侖淡水投<br>資值(元) | 淡水成本<br>(元/千加侖) |
|----|------------------|-----------------------|-------------------------|-----------------|
| A  | 2,500,000        | 2,400,000             | 0.96                    | 0.80            |
|    | 10,000,000       | 8,800,000             | 0.88                    | 0.60            |
| B  | 1,180,000        | 1,766,000             | 1.50                    | 1.02            |
|    | 1,180,000        | 1,537,000             | 1.30                    | 0.89            |
| C  | 100,000          | 241,000               | 2.41                    | 1.15            |
|    | 600,000          | 1,175,000             | 1.96                    | 0.94            |
|    | 6,000,000        | 10,600,000            | 1.77                    | 0.88            |

(表七) 電離法製造工廠之規模與鹽水含鹽濃度對製成淡水成本之比較

| 含鹽水值<br>(PPm) | 工廠生產能力<br>(加侖/日) | 淡水成本<br>(元/千加侖) |
|---------------|------------------|-----------------|
| 1,670         | 500,000          | 0.50~0.55       |
| 1,910         | 1,000,000        | 0.56~0.62       |
| 1,950         | 200,000          | 0.58~0.65       |
| 2,400         | 2,800,000        | 0.65            |
| 2,000         | 2,000,000        | 0.37            |
| 4,000         | 2,000,000        | 0.58            |

\* 生產淡水含可溶性固形物為500PPm

由上列二表中可以顯示，海水變淡水所具工廠之規模與製造成本之關係。同時亦可知目前製造淡水之一般成本範圍。最近美國計劃在佛羅里達州基威斯特建立一座日產7,000,000加侖變水工廠，預計投資5,600,000元，採用最新之技術及設備，希望每千加侖成本降至0.6元之水準。

(B) 將來海水變淡水成本之估計

海水變淡水成本，降低之關鍵是在於熱能之供應問題。至目前為止，人類利用能之來源主要還是靠煤和油及水力發電。原子能雖可望於十或廿年內應用，但成本方面由於投資額巨大，在可能將來對淡水製造成本，不會大幅降低。所以各國研究機構對太陽能、地能、風能、工業廢能，海水溫度能及海潮能之利用，均積極研究，希望能由人力控制上述無限之能量，來達到大量海水變淡水之目的，但這些在目前僅是在憧憬而已。

由於目前熱能成本所限，在自然能無法利用之前，今後利用海水變淡水最大極限成本將為每千加侖0.5元，利用電離法從含鹽水製造，亦僅能維持在每千加侖0.3元左右。

(五) 結 語

從以上論述，可知海水變淡水在可見之將來，其成本最低極限將維持在每千加侖0.5元左右，即每噸/呎150元。此種價格在目前看來，是所有水源開發成本最高之一種。

近百年來，由於人口迅速增加，許多地區，天然水源雖然豐沛，但其利用已達極限，成為今後阻碍工



業發展最主要之因素。以美國而論，目前西部十七州已感到用水問題之嚴重；其中最顯著之例，即位於美國西南部之達勒斯市，由於城市發展太快，當1953年發生旱災時，飲用水之售價竟達每加侖1元美金之驚人價格。中東之油田產區，飲水多從外埠運送，其價格較原油尤高。其不但乾旱之地區如此，目前連美國最多雨之密西西比州首府傑克遜市，由於人口膨脹，亦鬧水荒，已不惜代價另闢水源。日本近年來工農業發達，人口膨脹之結果，許多城市已限制工廠之設立

，原因亦由於水源之不繼。本年初香港亦鬧水荒，居民因受嚴格配水之限制，感到莫大之痛苦，上述僅屬幾個例子，展望來日，其情形當更嚴重。

為應付今後可能發生之水荒，各國政府莫不撥出巨款，成立專門機構，研究海水變淡在大規模製造上之可能性。鑒於今後工農業發展之趨勢從長遠之眼光看來，亦惟有不惜代價，從廣大無限之海洋中取得淡水，才能解決佔有世界二分之一之乾燥或半乾燥地區地區，農業灌溉及都市用水之需要。



三太幫浦

SANTI PN MP

三太造機工廠股份有限公司

嘉義市仁愛路125號

電話2337•3757•3906號

再生營造廠

地址：台南縣佳里鎮東群里一五八號  
電話：佳里局二二二號