



(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 I575806 B

(45)公告日：中華民國 106 (2017) 年 03 月 21 日

(21)申請案號：101100717 (22)申請日：中華民國 101 (2012) 年 01 月 06 日

(51)Int. Cl. : H01M8/04 (2016.01)

(30)優先權：2011/01/06 美國 61/430,255

(71)申請人：博隆能源股份有限公司(美國) BLOOM ENERGY CORPORATION (US)  
美國

(72)發明人：派瑞 馬丁 PERRY, MARTIN (CA)；威爾納 大衛 WEINGAERTNER, DAVID (US)；戈特曼 馬夏思 GOTTMANN, MATTHIAS (US)；楚卡 麥可 PETRUCHA, MICHAEL (CA)；卡利卡 維拉德 KALIKA, VLAD (US)；巴蘇 尼藍 BASU, NILANJANA (US)；力南 南瓦夏 KRISHNAN, NAVANEETHA (IN)；愛孟頓 大衛 EDMONSTON, DAVID (US)；班士 福柏 BAINS, VIRPAUL (CA)；賴 威廉 大衛 LYLE, WILLIAM DAVID (US)；凡卡塔拉馬南 史威密那 VENKATARAMAN, SWAMINATHAN (US)；瑞南 嵐 RAMANAN, RAM (US)；塔 安迪 TA, ANDY (US)；桑大嵐 安納 SUNDARARAJAN, ANANDA (IN)

(74)代理人：陳長文

(56)參考文獻：

US 5340664

審查人員：李嘉修

申請專利範圍項數：7 項 圖式數：20 共 85 頁

(54)名稱

熱交換器及陰極複熱器單殼

HEAT EXCHANGER AND CATHODE RECUPERATOR UNI-SHELL

(57)摘要

本發明提供各種熱箱燃料電池系統組件，諸如熱交換器、蒸汽產生器及其他組件。

Various hot box fuel cell system components are provided, such as heat exchangers, steam generator and other components.

指定代表圖：



- 119 . . . 管道
- 121 . . . 加濕之陽極  
排氣流管
- 123 . . . 陽極再循環  
鼓風機
- 125 . . . 主要空氣鼓  
風機
- 133 . . . 管道/狹縫  
或狹槽
- 137 . . . 燃料熱交換  
器(陽極複熱器)/預重  
組器
- 200 . . . 單殼陰極複  
熱器/空氣熱交換器
- 314 . . . 溫空氣輸出  
管
- 801 . . . ATO 混合  
器

發明專利說明書

中文說明書替換頁(105年5月6日)

(本說明書格式、順序及粗體字，請勿任意更動，※記號部分請勿填寫)

※ 申請案號：101100717

※ 申請日：101年1月6日

※IPC 分類：H01M 8/04 (2016.01)

## 一、發明名稱：(中文/英文)

熱交換器及陰極複熱器單殼

HEAT EXCHANGER AND CATHODE RECUPERATOR  
UNI-SHELL

## 二、中文發明摘要：

本發明提供各種熱箱燃料電池系統組件，諸如熱交換器、蒸汽產生器及其他組件。

## 三、英文發明摘要：

Various hot box fuel cell system components are provided, such as heat exchangers, steam generator and other components.

#### 四、指定代表圖：

(一)本案指定代表圖為：第 ( 20 ) 圖。

(二)本代表圖之元件符號簡單說明：

1	熱箱
9	燃料電池堆疊或塔
10	陽極尾氣氧化器(ATO)
21	燃料饋入管
23A	燃料出口管
23B	燃料排氣管
24	陰極排氣管
25	空氣入口管及/或歧管
27	管道
29	燃料入口管
30A	水入口管
30B	蒸汽出口管
31	陽極氣體再循環管
33	空氣入口管或歧管
35	陰極排氣管
100	陽極排氣冷卻器熱交換器/陽極冷卻器(空氣預加熱式熱交換器)
103	蒸汽產生器
104	水源/水箱
105	混合器
107	燃料排氣分流器

111	催化部分加壓氧化(CPOx)反應器
113	CPOx空氣入口管
117	環形陽極排氣管
119	管道
121	加濕之陽極排氣流管
123	陽極再循環鼓風機
125	主要空氣鼓風機
133	管道/狹縫或狹槽
137	燃料熱交換器(陽極複熱器)/預重組器
200	單殼陰極複熱器/空氣熱交換器
314	溫空氣輸出管
801	ATO混合器

五、本案若有化學式時，請揭示最能顯示發明特徵的化學式：

(無)

## 六、發明說明：

### 【發明所屬之技術領域】

本發明係關於燃料電池系統，特定言之，係關於固態氧化物燃料電池(SOFC)系統熱箱組件。

### 【先前技術】

燃料電池(諸如固態氧化物燃料電池)為可將儲存於燃料中之能量以較高效率轉換為電能的電化學裝置。高溫燃料電池包括固態氧化物及熔融碳酸鹽燃料電池。此等燃料電池可使用氫及/或烴類燃料操作。存在亦允許可逆操作之燃料電池種類，諸如固態氧化物再生燃料電池，使得氧化之燃料可使用輸入的電能還原回未氧化之燃料。

圖1至圖9說明2010年1月14日公開之美國公開申請案2010/0009221中所述之先前技術燃料電池系統(以第12/458,171號申請且其以全文引用的方式併入本文中)。特定言之，參照圖1、圖2A、圖2B及圖3A，整合式燃料電池單元10顯示為具有一般圓筒形結構之整合式固態氧化物燃料電池(「SOFC」)/燃料處理器10的形式。單元10包括圍繞中心軸16之八(8)個燃料電池堆疊14的環形陣列12，且各燃料電池堆疊14具有平行於中心軸16延長之堆疊方向，且各堆疊具有徑向向外之面17及徑向向內的面18。最佳如圖3A中所示，燃料電池堆疊14彼此呈角度間隔且排列形成圍繞軸16的環形結構。因為存在八個燃料電池堆疊14，所以環形陣列12的特徵亦可為圍繞軸16形成八角形結構。雖然已顯示八個燃料電池堆疊14，但應瞭解本發明涵蓋可包括

多於或少於八個燃料電池堆疊之環形陣列12。

參照圖1，單元10另外包括位於燃料堆疊14之陣列12徑向外側的環形陰極複熱器20、位於環形陣列12徑向內側的環形陽極複熱器22、亦位於環形陣列12徑向內側的重組器24、及環形陽極排氣冷卻器/陰極預熱器26，以上全部均整合在單一外殼結構28內。外殼結構28包括陽極饋料口30、陽極排氣口32、陰極饋料口34、陰極排氣口36及陽極燃燒氣體入口37。38處示意性顯示之陽極排氣燃燒器(通常呈陽極尾氣氧化器(ATO)燃燒器形式)為與整合式單元10分離之組件，且接收來自孔口32之陽極排氣流39，產生陽極燃燒氣流40，傳遞至陽極燃燒氣體入口37。在起動期間，燃燒器38亦接收由箭頭41示意性顯示之燃料流(通常為天然氣)。另外，如箭頭42所示之一些陽極排氣流可再循環至陽極饋料口30。就此而言，可提供適當的閥門43以選擇性控制陽極排氣流通向燃燒器38或陽極饋料口30。另外，儘管未圖示，然而可能需要鼓風機以便向再循環之陽極排氣流42提供適當加壓。雖然圖1、圖2A及圖2B為剖視圖，但在隨後的圖中應看出除孔口34、36及37之外，整合式單元10之組件及特徵對稱圍繞軸16。

參照圖1及圖2A，將更詳細地闡明陰極流。如圖1所示，由箭頭44示意性顯示之陰極饋料(通常為空氣)經由孔口34進入單元10且通過環形通道46，隨後進入徑向通道48。應注意如本文所用之術語「徑向通道」意指以一般對稱的360度圖案徑向向內或徑向向外導流的通道。陰極饋料44



經由通道48徑向向外流向圍繞陣列12且通過陰極複熱器20之環形通道50。陰極饋料44經由環形通道50向下流動且隨後徑向向內流入環形饋料歧管容積52中，環形饋料歧管容積52圍繞環形陣列12以將陰極饋料44分配至各燃料電池堆疊14中(其中陰極饋料為燃料電池堆疊14中之反應提供氧離子)且以陰極排氣56之形式離開燃料電池堆疊14。陰極排氣56隨後橫越重組器24流入環形排氣歧管區域58，在該環形排氣歧管區域58中陰極排氣56與經由環形通道60引入歧管58中之燃燒氣流40混合。就此而言，應注意燃燒氣流40有助於補償陰極排氣流56中由燃料電池堆疊14中氧運輸所產生之質量損失。燃燒氣流40所提供之此額外質量流有助於使陰極複熱器20之尺寸最小化。由箭頭62示意性顯示之合併之燃燒氣流40及陰極排氣56經由中央開孔64離開歧管58進入徑向通道66。合併之排氣62經由通道66徑向向外流入環形排氣流通道68，環形排氣流通道68通過與通道50呈熱交換關係之陰極複熱器20以將合併之排氣62的熱量轉移至陰極饋料44中。合併之排氣62經由環形通道68向上流入徑向通道70，徑向通道70將所合併之排氣62徑向向內引入最終環形通道72，隨後經由排氣口36離開單元10。

參照圖1及圖2B，由箭頭80示意性顯示之陽極饋料較佳以再循環陽極排氣42與甲烷之混合物形式經由陽極饋料入口30進入單元10。陽極饋料被引入通過陽極複熱器22之環形通道82。隨後，陽極饋料80流入徑向流動通道84，在該徑向流動通道84中陽極饋料80徑向向外流入環形歧管或充

氣室 86 中，環形歧管或充氣室 86 將陽極饋料引入重組器 24 中。在重組器 24 中經重組之後，陽極饋料以重組物之形式離開重組器 24 之底部且被引入整合式壓力板/陽極饋料歧管 90 中。饋料歧管 90 將陽極饋料 80 引入複數個堆疊饋料口 92 中，且孔口 92 之一與各燃料電池堆疊 14 相關聯。各孔口 92 將陽極饋料 80 引入相應陽極饋入/返回總成 94 中，陽極饋入/返回總成 94 將陽極饋料 82 引入相應燃料電池堆疊 14 中且在陽極饋料於堆疊 14 中反應之後自相應堆疊 14 收集由箭頭 96 示意性顯示的陽極排氣。各陽極饋入/返回總成 94 將陽極排氣引回至壓力板/歧管 90 中之複數個堆疊口 98 中之相應一者中(亦為各燃料電池堆疊 14 的一個孔口 98)。歧管將在壓力板/歧管 90 中形成之陽極排氣 96 徑向向內引入八個陽極排氣口 100(亦為各堆疊 14 之一者)。陽極排氣 96 經由孔口 100 流入複數個相應陽極排氣管 102 中，陽極排氣管 102 將陽極排氣 96 引入徑向陽極排氣流動通道 104 中。陽極排氣 96 經由通道 104 徑向向內流入環形流動通道 106，環形流動通道 106 向下通過與流動通道 82 呈熱交換關係之陽極複熱器 22。隨後，陽極排氣 96 由較佳呈圓頂狀之隔板/蓋板 110 自環形通道 106 向上引入管狀通道 108 中。陽極排氣 96 經由通道 108 向上流動，隨後由較佳亦呈圓頂狀之隔板/蓋板 114 引入另一環形通道 112 中。環形通道 112 通過與環形陰極饋料通道 46 呈熱交換關係之陽極冷卻器 26。在將熱量轉移至陰極饋料 44 之後，陽極排氣 96 離開環形通道 112 且由較佳呈圓錐形的隔板 116 引入陽極排氣口 32 中。

參照圖 3A、圖 3B，提供呈八個管組 282 之環形陣列 280 形式的重組器 24，且各管組 282 對應於燃料電池堆疊 14 之一且包括一系列扁平管 284。就此而言，應注意管組 282 中管 284 之數目將高度取決於各應用之特定參數且視彼等特定參數而定，可因單元 10 不同而不同。

圖 3C 作為一般圖式意欲說明陰極複熱器 20、陽極複熱器 22 及陽極冷卻器 26 所共有之某些結構細節。此等三個熱交換器各自之結構基本上由三個設定兩個分離之流動通道 D 及 E 之同心圓筒形壁 A、B、C 組成，且流動通道 D 及 E 中分別設置波狀或蛇狀散熱片結構 G 及 H 以使各別流動通道之表面積增大。因為熱傳遞經由圓筒形壁 B 發生，所以較佳諸如藉由銅焊使散熱片 G 及 H 與壁 B 接合以便提供良好熱導率。另一方面，為達成總成及 / 或允許差異熱膨脹之目的，散熱片 G 及 H 較佳不與圓筒形壁 A 及 C 接合。對於各熱交換器 20、22 及 26，應瞭解各流動路徑 D 及 E 中之散熱片 G 及 H 的縱向長度及特定幾何形態可視需要針對各特定應用加以調節以便自熱交換器獲得所需輸出溫度及允許壓降。

現轉向圖 4A 至圖 4D，陽極冷卻器 26 包括為通道 112 中之陽極排氣 96 提供增大之表面積的波狀或蛇狀散熱片結構 300、為通道 46 中之陰極饋料流 44 提供增大之表面積的波狀或蛇狀散熱片結構 302、及較佳藉由銅焊接合散熱片 300 及 302 且用來使流動通道 46 與流動通道 112 分離的圓筒形壁或管 304。最佳如圖 4B 中所示，圓筒形擋流板 306 設置於波狀散熱片 300 之內側且在其端部包括圓頂狀隔板 114 以便設

定流動通道112的內側部分。亦提供環形擋流板308以在陰極饋料44離開流動通道46之後將其徑向向外導引。圓錐形隔板116與孔口32一起附接至管304之頂部，且包括利用適當接合方法(諸如銅焊或焊接)在結構上固定至孔口32的螺栓凸緣310，其亦包括波紋管311以允許外殼28與經由凸緣310所連接之組件之間發生熱膨脹。如圖4C所示，上述組件可裝配成藉由諸如銅焊接合在一起的另一次總成。

參考圖1及圖4D，可看出陽極複熱器22包括環形流動通道82中之波狀或蛇狀散熱片結構312用於增大陽極饋料80之表面積。最佳如圖1中所示，陽極複熱器22另外包括環形流動通道106中之另一波狀或蛇狀散熱片結構314用於增大陽極排氣96之表面。

最佳如圖4D中所示，波狀散熱片312及314較佳接合至用來使流動通道82與流動通道106彼此分離的圓筒形管壁316上，且圓頂狀隔板110連接至壁316之底端。最佳如圖4D中所示，另一圓筒形壁或管320設置於波狀散熱片314(圖4D中未圖示，但在相當於如圖4B所示之圓筒304中散熱片300的位置)徑向內側以設定環形通道106的內側。如圖2A所示，圓筒形壁320內設置絕熱套管322且絕熱套管322內設置圓筒形排氣管324以設定陽極排氣96之通道108。排氣管324較佳與圓筒形壁320下端所設置之圓錐狀凸緣328接合。參照圖4D，另一圓筒形壁或管330圍繞波狀散熱片312以界定流動通道82之徑向外部界限且利用圓錐狀隔板332與入口30連接。歧管盤334設置於壁316之上端處且包括用

於接收圓筒形壁320之中央開孔336，及八個用於密封性接收陽極排氣管102之末端的陽極排氣管接收孔338，且板308用來在裝配狀態下封閉歧管盤334之上部區域。

參照圖2B及圖4E，展示熱屏蔽總成350且其包括內圓筒殼352(展示於圖2B中)、外圓筒殼354、位於內殼352與外殼354之間的絕熱套管356(展示於圖2B中)及封閉外殼350之開口端的盤狀蓋板358。蓋板358包括八個供電極套管211穿過用之電極間隙開孔360。如圖4E所示，熱屏蔽總成350裝配在絕熱盤361上、燃料電池14之裝配陣列12的外側周邊且界定陰極饋料歧管52的外部範圍。熱屏蔽350用來保留與其所包圍之組件有關的熱量。圖5顯示安裝在堆疊14上之熱屏蔽總成350。

參照圖1及圖6，陰極複熱器20包括使環形流動通道68中所合併排氣62之表面增大的波狀或蛇狀散熱片結構362、使環形流動通道50中陰極饋料44之表面增大的波狀或蛇狀散熱片結構364、及使流動通道50與流動通道68分離且接合散熱片362及364的圓筒管或壁366。盤狀蓋板368係為封閉圓筒形壁366之上部開孔而提供且包括中央開孔370及複數個供電極套管211通過的電極間隙開孔372。圓筒管或套管376附接至蓋板368以充當陽極冷卻器26之外套筒，且上部環形螺栓凸緣378附接至套管376的頂部。最佳如圖1及圖6中所示，下部環形螺栓凸緣380及絕熱套管382與套管376之外部配合，且圓筒形壁或罩384環繞絕熱套管382且界定通道72之內壁。

參照圖7，圖6之組件隨後被裝配在圖5中所示之組件上且凸緣378栓接至凸緣310。

參照圖4A，外殼28裝配在單元10之其餘部分上且其在外殼28之凸緣380與凸緣400處、及在總成237的凸緣402與外殼28的凸緣404處栓接，凸緣連接之間較佳具有適當的密封墊以密封連接。

圖9為先前所述之整合式單元10的示意圖，其顯示流經整合式單元10的各種流與整合式單元10之各主要組件的關係。圖9亦顯示視情況選用之空氣冷卻式陽極冷凝器460，其較佳用於冷卻陽極排氣流39及在排氣流39進入燃燒器38之前使其中水冷凝。必要時，可省去冷凝器。圖9亦顯示向燃燒器38提供空氣流的鼓風機462、提供陰極饋料44之鼓風機464及加壓陽極再循環流42的鼓風機466。必要時，圖9中所示之單元10的一替代性實施例與圖1中所示之先前描述實施例不同之處亦在於，視情況添加蒸汽產生器(水/合併排氣熱交換器)440以便利用來自合併排氣62的廢熱在起動期間製造蒸汽。就此而言，向熱交換器440之水入口444提供水流442，且蒸汽出口導引待與陽極饋料80混合之蒸汽流448傳遞至陽極饋料入口30。

### 【發明內容】

一實施例係關於一種熱交換器，其包括具有指孔板或端蓋之頂部外殼、具有指孔板或端蓋之底部外殼及介於頂部外殼與底部外殼之間的波紋片。熱交換器經組態使得第一流體在波紋片之一側流動且第二流體在波紋片之對側流

動。

另一實施例係關於一種陰極複熱器單殼，其包括具有單一圓筒形波狀散熱片板之單塊總成、具有指孔板或端蓋之頂部外殼及具有指孔板或端蓋之底部外殼。陰極複熱器單殼經組態以使第一流體在單一圓筒形波狀散熱片板之一側流動且第二流體在單一圓筒形波狀散熱片板的對側流動。

另一實施例係關於一種陰極排氣蒸汽產生器，其包括位於燃料電池系統之陰極複熱式熱交換器之內側封蓋與外側封蓋之間熱箱中的蒸汽產生器旋管。

另一實施例係關於一種預重組器，其包括部分或完全塗有蒸汽甲烷重組催化劑的散熱片，其為陽極複熱式熱交換器之一部分或另外位於其燃料入口側。

另一實施例係關於一種預重組器，其包括塗有蒸汽甲烷重組催化劑的金屬線。金屬線位於陽極複熱式熱交換器之至少一個燃料入口側及至少一個連接陽極複熱器之燃料入口輸出與至少一個燃料電池堆疊之燃料入口的燃料入口管中。

另一實施例係關於一種陽極流輪轂結構，其包括帶槽底座及複數個燃料入口及出口管。

另一實施例係關於一種陽極尾氣氧化器(ATO)混合器元件，其包括經組態可使進入ATO之空氣流以方位角方向渦旋的葉片。

另一實施例係關於一種陽極尾氣氧化器(ATO)燃料分流噴射器，其包括一或多個狹縫，該等狹縫經組態以使燃料

電池堆疊陽極排氣流之第一部分噴射入ATO、同時允許陽極排氣流之其餘部分通過分流噴射器而不會提供至ATO中。

另一實施例係關於一種燃料電池堆疊電端子，其包括具有貫穿底座開孔之橋連管之燃料電池堆疊支撐底座及自燃料電池堆疊通過橋連管至底座外部的集電器。

另一實施例係關於一種使燃料電池熱箱特徵絕熱之方法，其包括將可流動絕熱材料傾倒至燃料電池熱箱特徵與相鄰特徵之間間隙中及允許可流動絕熱材料固化。

另一實施例係關於一種操作固態氧化物燃料電池系統之方法，其包括向陽極尾氣氧化器(ATO)提供固態氧化物燃料電池堆疊陽極排氣流及向ATO提供固態氧化物燃料電池堆疊陰極排氣流以使陽極排氣流在ATO中氧化。除陽極排氣流外，不向ATO提供外部燃料。

另一實施例係關於一種操作固態氧化物燃料電池系統之方法，其包括將燃料引入流提供至固態氧化物燃料電池堆疊中及將空氣引入流提供至燃料電池堆疊中。方法亦包括將來自燃料電池堆疊之陽極排氣流提供至分流器中，該分流器將陽極排氣流之第一部分自分流器提供至ATO中且將陽極排氣流之第二部分自分流器提供至陽極冷卻式熱交換器中以及在空氣引入流到達燃料電池堆疊之前將其預熱。分流器、固態氧化物燃料電池堆疊、陽極冷卻器位於同一熱箱中且陽極排氣流之第一及第二部分在熱箱內分流。

另一實施例係關於一種燃料電池系統，其包括熱箱及位



於熱箱內的燃料電池堆疊、ATO、陽極排氣流分流器及陽極冷卻式熱交換器。分流器經組態以將燃料電池堆疊陽極排氣流之第一部分噴射入ATO中、同時允許陽極排氣流之其餘部分通過分流器進入陽極冷卻器中而不提供至ATO中。

另一實施例係關於一種燃料電池系統，其包括至少一個燃料電池堆疊或塔及陰極複熱式熱交換器，其中進入至少一個燃料電池堆疊或塔之空氣引入流由來自至少一個燃料電池堆疊或塔之空氣排氣流所加熱。陰極複熱式熱交換器之空氣引入流出口位於燃料電池堆疊或塔之中間部分中的任一或多個點鄰近處，使得離開陰極複熱器之空氣引入流被引向至少一個燃料電池堆疊或塔的中間部分。

另一實施例係關於一種燃料電池系統，其包括複數個圍繞中心軸排列形成環形結構之呈角度間隔的燃料電池堆疊。各燃料電池堆疊具有平行於中心軸延伸之堆疊方向且在面向環形結構中央之內面中具有陰極出口。複數個呈角度間隔之燃料電池堆疊中至少有一些係圍繞其軸旋轉非零角度，使得複數個呈角度間隔之燃料電池堆疊的內面並不徑向對準，以使離開燃料電池堆疊之面向中心軸之內面的陰極排氣流產生渦旋。

### 【實施方式】

本發明之實施例提供改良燃料電池系統效能的燃料電池熱箱組件。實施例包括具有「指孔板」之陽極排氣冷卻式熱交換器、陰極複熱器單殼、陰極複熱器單殼陶瓷塔支座

及膨脹波紋管、陰極排氣蒸汽產生器結構、預重組器管插件催化劑、陽極流結構輪轂、陽極尾氣氧化器(ATO)空氣渦旋元件、ATO燃料噴射器、及傾入式外部絕熱且簡化的堆疊電端子。

#### 陽極排氣冷卻式熱交換器

需要增加熱箱中流體(例如燃料流及空氣引入流及排氣流)之總體流動條件及速率。根據第一實施例，具有「指孔板」之陽極排氣冷卻式熱交換器有助於此等較高的總體流動條件。陽極冷卻式熱交換器為燃料電池堆疊之熱燃料排氣流與向燃料電池堆疊(諸如SOFC堆疊)提供之冷空氣引入流交換熱量的熱交換器。此熱交換器在2008年7月25日申請之美國申請案第12/219,684號及2007年10月1日申請之11/905,477(兩者均以全文引用之方式併入本文中)中亦稱為空氣預加熱式熱交換器。

圖10A至圖10B及圖11中說明例示性陽極排氣冷卻式熱交換器100。如圖10A中所示，陽極排氣冷卻式熱交換器100之實施例包括兩個封接於波紋片104之對立末端上的「指孔」板102a、102b。波紋片104可具有圓筒形狀(亦即具有波狀外壁之圓筒體)且指孔板102a、102b位於圓筒體的對立末端。亦即，波紋之峰及谷可與圓筒體之軸向平行對準，且指孔板102a、102b設計成可覆蓋交替的峰/谷。其他形狀(例如中空矩形、三角形或任意多邊形)亦可用於波紋片104。指孔板包含具有伸入環內部之指形延長部分的中空環形金屬板。板102a、板102b彼此錯開一個波紋，

使得若頂板102a之指孔覆蓋波紋片104中之各內向凹部，則底板102b指孔覆蓋波紋片104中之各外向凹部(如說明裝配式熱交換器100的圖10B中所示)且反之亦然。各指孔之形狀經組態以覆蓋波紋片104中之一個各別凹部/散熱片/波紋。指孔可銅焊至波紋片104上。

波紋片104之波紋或散熱片可如圖10A及圖11中所示為直的或圖10B中所示為波浪形。波浪形散熱片為在垂直方向上不直的散熱片。該等波浪形散熱片易於製造。

不要求使用指孔板102a、102b。如圖10D中所示，相同功能可藉助於銅焊至散熱片104之頂部/底部的扁平蓋環或端蓋102c來獲得。指孔板102a、102b設計之優點在於其允許軸向氣流進入及/或離開散熱片104，如圖10C中箭頭示意性所示。相反，如圖10D中所示，蓋環102c需要氣流非軸向地進入及/或離開散熱片104且隨後在散熱片104內轉為軸向，引起壓降增加。可製造具有指孔板102a、102b或位於任一端之端蓋102c或兩者組合的陽極冷卻式熱交換器100。換言之，對於指孔板與端蓋之組合，散熱片104之頂部可含有指孔板或端蓋中之一者且散熱片之底部可含有指孔板或端蓋中之另一者。

如圖11A(其為波紋片104之一部分的俯視剖視圖)中所示，熱流體流1131及冷流體流1133在相鄰波紋中流動，其中分隔流體流之波紋片104的金屬充當主要熱交換器表面。波紋片104可相對較薄，諸如具有0.005吋至0.003吋、例如0.012吋至0.018吋之厚度以增強熱傳遞。舉例而言，

熱燃料排氣流在波紋片104內部(包括波紋之內側凹部中)流動且冷空氣引入流在波紋片104之外部(包括波紋之外側凹部)流動。或者，陽極排氣冷卻式熱交換器可經組態以使燃料排氣在波紋片104之外側流動且空氣引入流在波紋片104之內側流動。指孔板102a及102b防止熱流與冷流在其進入及離開陽極排氣冷卻式熱交換器時混合。

波紋片之一側(例如內側)與連接至固態氧化物燃料電池堆疊之燃料排氣的燃料排氣管流體連通且與來自下文將描述之陽極複熱式熱交換器的排氣管流體連通。波紋片之第二側與以下將更詳細描述之空氣引入流管流體連通。

如圖17C中所示，進入陽極排氣冷卻器100之空氣引入流可引向裝置之中心線。或者，空氣引入流可在進入裝置時具有完全或部分切向分量。另外，必要時，可將視情況選用之隔板101a或另一適合的引流裝置101b安置在空氣入口管或歧管33中之陽極排氣冷卻器100上來增強空氣引入流在陽極排氣冷卻器100中的流動均勻性，如圖11B至圖11D中所示。

圖11B及圖11D分別說明位於空氣入口管或歧管33中之陽極排氣冷卻器100上之隔板101a的側視橫截面圖及半透明三維圖。隔板可包含具有複數個開孔之圓筒板。開孔可依一或多個圓形設計沿圓周排列且各開孔可具有圓形或其他(例如卵形或多邊形)形狀。

如圖11C顯示引流裝置101b，其包含在隔板之間引起如曲線所示之迷宮氣流路徑的一系列偏移隔板101c。必要

時，隔板101a開孔及/或隔板101c組態可具有不對稱或不均勻的幾何形態以促進陽極排氣冷卻器之一些區域中的氣流且限制陽極排氣冷卻器之其他區域中的氣流。

圖11D亦顯示具有空氣引入孔33b之大致圓筒形空氣入口管外殼33a。如圖11E中虛線所示，空氣入口管或歧管33位於外殼33a之內壁與環形陽極排氣管117之外壁之間。外殼33a亦環繞陽極冷卻器100a以在波紋板104之散熱片與外殼33a之內壁之間提供空氣引入流通道。

圖11D、圖11E及圖11F亦顯示經由陽極排氣冷卻器100中之中央空腔繞過陽極排氣冷卻器的燃料入口管29。圖11E為三維視圖且圖11F為裝置之三維剖視圖。如圖11E至圖11F中所示，陽極冷卻器100之圓筒形波紋片104及盤形指孔板(例如102b)具有位於中央的空腔。燃料入口管29及環形絕熱體100a位於此空腔100b(顯示圖10B中)中。環形絕熱體100a環繞燃料入口管29，且使管道29與環形陽極冷卻器100及環繞絕熱體100a之環形燃料(陽極)排氣管117以及與環繞環形陽極冷卻器100之環形空氣入口管或歧管33及環形燃料(陽極)排氣管117隔熱。因此，燃料引入流通過燃料入口管29而不與流經陽極冷卻器100、燃料排氣管117及空氣入口管或歧管33之氣體(亦即燃料排氣流及空氣引入流)發生實質性熱交換。必要時，燃料入口管可包括視情況選用之具有凸緣29c之波紋管29b，如圖11E中所示。

如圖11E至圖11F中所示，燃料引入流經由連接至燃料入口管29之燃料引入孔29a進入裝置。垂直管29具有與開孔

29a連接的水平橋連部分，其越過與陽極冷卻器100流體連通之空氣入口管33及燃料排氣管117。因此，燃料引入流與陽極冷卻器100中之空氣引入流及陽極冷卻器100上方之燃料排氣流流體分離且熱分離。

陽極排氣冷卻式熱交換器之實施例可具有一或多個以下優點：因分離之流體流之間材料傳導損失最小而熱交換極佳、極緊湊、重量輕、材料需要量減少、製造成本降低、無需夾具、壓降減小、能夠藉由簡單改變指孔板設計來控制兩種或兩種以上流體流之間的流量比。陽極排氣冷卻式熱交換器之能率相對於先前技術熱交換器可增加20%至40%。另外，在一些實施例中，陽極排氣冷卻式熱交換器除具有較高能率以外，亦可比先前技術熱交換器短。

#### 陰極複熱器單殼

陰極複熱器為空氣引入流與來自燃料電池堆疊之空氣(例如陰極)排氣流交換熱量的熱交換器。空氣引入流較佳在進入陰極複熱器之前在上述陽極冷卻器中預熱。

經由先前技術銅焊之兩個有散熱片的圓筒形熱交換器傳遞熱的方式由可經由熱交換結構之銅焊總成傳導性傳遞的熱量限定。熱傳遞的可能缺乏可引起燃料電池系統的熱不穩定性且亦可能不允許系統在其額定條件下操作。本發明者認識到使用單一散熱片分流器可改良流體流之間的熱傳遞且提供緊湊型熱交換器封裝。

圖12A至圖12G中說明實例陰極複熱器200單殼。在一實施例中，先前技術結構之圖3C之三個同心獨立外殼A、B

及C置換為圖12A至圖12B中所示的單一單塊總成。圖12A顯示無熱屏蔽絕熱體之總成組件的分解三維視圖且圖12B及圖12C顯示組件合在一起且安裝有熱屏蔽絕熱體202A、202B之總成的三維視圖。

單殼陰極複熱器200之實施例包括單一圓筒形波狀散熱片板或片304(顯示於圖12A及圖12D中)。波紋板或片304較佳為環形，諸如中空圓筒體。然而，板或片304必要時可具有多邊形橫截面(俯視時)。如圖12C(其為複熱器200之中央部分的三維視圖)、圖12D(其為波紋板或片304之俯視圖)及圖12E(其為複熱器200之側視橫截面圖)中所示，波紋板或片304位於熱屏蔽絕熱體之內側202A與外側202B之間。熱屏蔽絕熱體可包含中空圓筒體。熱屏蔽絕熱體可由位於波紋板或片304下方之熱屏蔽外殼204支撐。

除絕熱體及波紋板或片304以外，單殼陰極複熱器200亦包括頂蓋、板或封蓋302a(顯示於圖12A中)及類似底蓋板或封蓋(為了清楚起見未圖示於圖12A中)。如圖12A、圖12B、圖12F及圖12G中所示，除頂蓋、板或封蓋302a以外，熱箱亦可包括封蓋302a下方具有支撐肋狀物的熱屏306、包含具有支撐蒸汽旋管組310(亦即盤管，經盤管流動的水利用圍繞盤管流動之空氣排氣流的熱量加熱成蒸汽)之支撐肋狀物之隔板308的蒸汽產生器103、及具有封閉蒸汽產生器103之焊接環313的外部封蓋312。外部封蓋312中之陰極排氣管35將來自熱箱之空氣排氣流排出。

如圖12F(總成之側視橫截面圖)及圖12G(總成之三維視

圖)中所示，單一圓筒形波狀散熱片板304及頂部及底部蓋板迫使空氣(亦即陰極)入口12314及空氣(亦即陰極)排氣流1227作出非零度轉向(例如20度至160度轉向、諸如90度)進入散熱片板304之毗鄰中空散熱片中。舉例而言，陰極或空氣引入流自陽極冷卻器100、經位於熱屏306與頂蓋302a之間的管道314流至陰極複熱器200中。如圖12F及圖12G中箭頭所示，空氣引入流實質上沿徑向向外方向(亦即在徑向上由內向外)水平流動，直至空氣引入流衝擊波狀散熱片板304之上部內表面。衝擊迫使空氣引入流作出90度轉向且在內側波紋中向下(亦即呈軸向)流動。同樣，由圖12F及圖12G中箭頭顯示之熱陰極排氣流首先自下方經由來自ATO之管道27垂直接流動，且隨後沿實質上徑向向內方向在管道27之端部中實質上水平流動而衝擊波狀散熱片板304之下部外表面。此使空氣排氣流作出非零度轉向且在板304之外部波紋中向上(亦即呈軸向)流動。此單層散熱片板304設計允許有效熱傳遞且使系統內之熱變化(來自空氣之分佈不當)最小化。

不要求在陰極複熱器中使用蓋板。相同功能可藉助於與針對陽極冷卻器100所說明之指孔板102a、102b類似之指孔板來獲得。可製造具有指孔板或位於任一端之端蓋或兩者組合的陰極複熱式熱交換器200。換言之，對於指孔板與端蓋之組合，散熱片板304之頂部可含有指孔板或端蓋中之一者且散熱片之底部可含有指孔板或端蓋中之另一者。



如圖 12D(其為板或片 304 之一部分的俯視剖視圖)中所示，熱流體流及冷流體流在相鄰波紋中流動，其中分隔流體流之波紋板或片 304 之金屬充當主要熱交換表面。舉例而言，相對涼或冷的空氣引入流 12314 在波紋板或片 304 內部(包括波紋板之內側凹部中)流動且相對溫或熱的空氣排氣流 1227 在板或片 304 之外部(包括波紋板之外側凹部)流動。或者，空氣引入流 12314 可在波紋板或片 304 之內部流動且空氣排氣流 1227 可在波紋板或片 304 之外部流動。

波紋板或片 304 之一側(例如外側)與連接至固態氧化物燃料電池堆疊之空氣排氣及/或 ATO 排氣之空氣排氣管 27 流體連通。波紋板或片 304 之第二側與上述陽極冷卻器 100 之溫空氣輸出管 314 流體連通。

如圖 12H 中所示，離開陰極複熱器 200 之空氣引入流 1225 可引向燃料電池堆疊或塔 9 之中間縱向部分以向堆疊或塔 9 之其他最熱區域提供額外冷卻。換言之，燃料電池堆疊或塔 9 之中間部分與頂端及底端部分相比相對較熱。中間部分可位於堆疊或塔 9 之端部之間，使得各端部達到堆疊或塔 9 之長度的 10% 至 25% 且中間部分為堆疊或塔 9 長度的 50% 至 80%。

複熱器 200 之空氣引入流出口 210 的位置可經定製以優化燃料電池堆疊或塔 9 的溫度分佈。因此，出口 210 之垂直位置可視需要相對於垂直定向之堆疊或塔 9 進行調節。出口 210 可包含圓筒形複熱器 200 中之圓孔，或出口 210 可包含一或多個鄰接於系統中各堆疊或塔 9 之個別開孔。

因為離開出口 210 之空氣引入流(由圖 12H 中虛線箭頭顯示)與堆疊或塔 9 之溫度相比相對較冷，所以與堆疊或塔之端部相比，空氣引入流可向堆疊或塔的中間部分提供較高程度的冷卻，以獲得沿塔堆疊長度的較高溫度均勻性。舉例而言，出口 210 可位於堆疊或塔之中部 80%、諸如中部 50%、諸如中部 33% 中的任何一或多個點鄰近處。換言之，出口 210 不位於佔堆疊或塔之 10%、諸如 25%、諸如 16.5% 的頂端或底端部分鄰近處。

單殼陰極複熱器 200 之實施例可具有一或多個以下優點：因分隔之流體流之間材料傳導損失最小而熱交換極佳、極緊湊、重量輕、材料需要量減少、製造成本降低、壓降減小、提供確保不被機械壓毀的靜重。由此更易裝配燃料電池系統、降低容限要求且更易製造總成。

因此，如上所述，陽極冷卻器 100 及陰極複熱器 200 包含製程氣體在大致圓筒形波紋片之兩個對置表面上流動的「單殼」熱交換器。由此在各流之間提供極短的傳導傳熱路徑。較熱流(例如分別在熱交換器 100、200 中之陽極排氣及 ATO 排氣流)向各別較大表面積波狀金屬分流器片 104、304 提供對流傳熱。隨後，傳導傳熱僅穿過分流器之較小厚度(例如波紋片 104、304 之厚度)進行，且隨後波紋片 104、304 向冷卻器各別流(例如熱交換器 100、200 中之空氣引入流)提供對流傳熱。

熱交換器 100、200 彙集其各別製程流之方法不同。大致圓筒形陽極冷卻器 100 使用指形孔及指孔板 102a、102b 以

允許製程流(亦即陽極排氣及空氣引入流)實質上軸向進入熱交換器之波狀圓筒段。換言之，製程流大致平行(例如在20度內)於大致圓筒形熱交換器之軸進入熱交換器100。

相反，陰極複熱器200包括頂蓋和底蓋302a，其需要製程流(例如空氣引入流及ATO排氣流)大致垂直(例如在20度內)於熱交換器200之軸向進入熱交換器200。因此，就熱交換器200而言，製程氣體實質上非軸向進入該熱交換器中。

必要時，可轉換此等彙集方案。因此，熱交換器100、200均可組態成製程氣體軸向進入或製程氣體非軸向進入。或者，熱交換器200可組態成製程氣體軸向進入及/或熱交換器100可組態成製程氣體非軸向進入。

#### 具有陶瓷塔支座及波紋管的陰極複熱器單殼

在先前燃料電池系統中，難以在全程熱操作條件中維持燃料電池堆疊或堆疊塔上的連續機械負載。為了維持機械負載，先前技術系統依賴外部加壓系統。本發明燃料電池系統之實施例不包括外部加壓系統。然而，外部加壓系統之移除可能引起燃料電池塔喪失機械完整性。然而，本發明者已認識到外部加壓系統可置換為包含彈簧負載或重力負載系統或兩者組合的內部加壓系統。彈簧負載系統可包含任何適合系統，諸如2010年9月28日申請之美國專利申請案第12/892,582號中所述之系統(且其以全文引用的方式併入本文中)，其描述內部加壓陶瓷彈簧及/或使用單殼波紋管與經適當定製可熱膨脹之塔及單殼材料。

在圖13A所示之一實施例中，單殼陰極複熱器200位於一或多個塔402之頂部以向堆疊9之堆疊或塔提供額外內部加壓。複熱器200單殼圓筒體之重量可直接作用於燃料電池塔9上。在圓筒體之外加重量的情況下，可防止燃料電池塔自熱箱底座500升起且提供任何所需的密封力。可使用任何適合的塔402。舉例而言，可使用2010年9月28日申請之美國申請案第12/892,582號中所述之陶瓷塔402(且其以全文引用的方式併入本文中)。

如上述申請案中所論述，陶瓷塔402包含連鎖陶瓷側隔板402A、402B、402C。隔板可由耐高溫材料(諸如氧化鋁、其他適合的陶瓷或陶瓷基質複合材料(CMC))製成。CMC可包括例如氧化鋁(aluminum oxide)(例如氧化鋁(alumina))、氧化鋯或碳化矽之基質。亦可選擇其他基質材料。纖維可由氧化鋁、碳、碳化矽或任何其他適合材料製成。可使用基質與纖維之任意組合。如12/892,582申請案中所述，可使用鴿尾榫或蝴蝶結形陶瓷插件使陶瓷板成形隔板彼此連接。另外，如圖13A中所示，燃料電池堆疊9之塔中可設置一或多個燃料歧管404，如12/892,582申請案中所述。

另外，視情況選用之彈簧加壓總成406可位於燃料電池塔9上方且鄰接位於燃料電池堆疊9之塔之相對側的陶瓷塔402。如12/892,582申請案中所述，總成406可包括兩個陶瓷板之間的陶瓷板片彈簧或另一類型彈簧及張力器。單殼陰極複熱器200可位於總成406頂部之蓋408上，其向陶瓷

塔402及燃料電池堆疊9之塔提供內部加壓。

如上所討論，在先前燃料電池系統中，難以在全程熱操作條件中維持燃料電池塔上的連續機械負載。然而，在另一實施例中，本發明者已認識到藉由在直立圓筒體上包括波紋管206，可使圓筒體之重量直接擱在塔上。因此，在另一實施例中，如圖12A及圖13B中所示，單殼陰極複熱器200可含有外部之膨脹波紋管206或位於波狀散熱片板304下方之熱屏蔽殼204，以便另外使熱膨脹係數(CTE)與堆疊塔之熱膨脹係數匹配。另外，如圖16中所示，兩個其他波紋管850、852可位於接近熱箱頂部之陽極入口區域及陽極尾氣氧化器(ATO)排氣區域以便另外使CTE匹配。

波紋管206允許陰極複熱器200圓筒體(例如204、304)在熱操作條件中保持與燃料電池堆疊9塔接觸。波紋管206經設計可在操作期間變形，使得在溫度上升期間所致之力超過波紋管之強度，從而允許主要接觸點保持在燃料電池塔之頂部。

複熱器單殼之實施例可具有一或多個以下優點：塔頂空氣旁路的密封改良及塔上連續負載。塔上連續負載確保在內部加壓機制失效之情況下，塔上仍將存在一些(垂直)機械負載。單殼總成內使用膨脹波紋管206允許殼總成獨立於系統之主要陽極流結構而膨脹及收縮，從而使兩個次總成之熱機械作用最小化。

#### 陰極排氣蒸汽產生器結構

本發明之一個實施例提供能率高於先前技術蒸汽產生器

之能率、但具有相同物理包裝的蒸汽產生器。另外，蒸汽產生器旋管對流動分佈具有局部作用，該流動分佈隨後向下運送至陰極複熱器中且影響整個熱箱的溫度分佈。因此，陰極排氣蒸汽產生器之實施例經組態允許控制陰極排氣流動分佈。

如圖 12A、圖 12F、圖 12G 及圖 14 中所示，在本發明之實施例中，蒸汽產生器旋管 310 位於陰極複熱器 200 之封蓋段中(例如內部封蓋 302A 與外部封蓋 312 之間)以便距離高級燃料電池堆疊空氣或陰極排氣廢熱更近。或者，蒸汽產生器 103 可替代地位於陰極複熱器 200 之出口充氣室(垂直部分)中。

封蓋或出口充氣室蒸汽產生器 103 位置允許旋管長度相對於先前技術代表性降低。為抵消旋管段上不同壓降之作用，亦可添加排氣隔板 308 以支撐旋管 310(為了清楚起見，與圖 12A 相比，隔板 308 及旋管 310 倒轉顯示於圖 14 中)。支撐肋狀物 309 使旋管 310 在隔板 308 下保持適當位置。蒸汽旋管 310 可為部分或完全波紋管或直管，其接近水入口管 30A 處的直徑小於接近蒸汽出口管 30B 處的直徑。蒸汽旋管 310 可具有任何適合的形狀，諸如螺旋形旋管或一或多個具有一或多個 U 形轉彎的旋管(亦即具有至少兩個相對於彼此以 320 度至 360 度角彎曲之區段的旋管)。旋管連續越過之 U 形轉彎可相對於彼此對準或偏移。

如圖 12F 中所示，隔板 308 迫使經由管道 119 自陰極複熱器 200 以軸向實質上垂直前進至蒸汽產生器 103 的空氣排氣

流1227在經由出口35離開熱箱之前以實質上水平的徑向向內方向再圍繞旋管310通過。陰極排氣流當旋管310連接至隔板308之底部時，通過板302A與隔板308之間空隙中的蒸汽產生器103及/或當旋管310連接至隔板308之頂部時，通過隔板308與外板312之間空隙中的蒸汽產生器103。再次通過在波狀蒸汽旋管310之表面上及陰極複熱器200內提供均勻流動分佈。

蒸汽產生器103之實施例可具有一或多個以下優點：使用較高級熱量，相對於先前技術更緊湊，便於製造、流動分佈改良。

#### 預重組器管插件催化劑

在先前技術燃料電池系統中，燃料在到達燃料電池之前的預重組程度可能需要視燃料及各別組合物之來源而精確調節。圖1至圖3中顯示之先前技術蒸汽甲烷重組器(SMR)包括塗有催化劑之扁平插件的扁平管。在先前技術設計中，必要時存在可用於容納大量催化劑之顯著流動長度。在本發明之實施例中，存在可用於催化劑置放的有限量流動長度。有限量流動長度減少燃料之總流動路徑長度，因此降低壓降及為具有多轉彎流動路徑所需的機械設計複雜性。

在本發明之一個實施例中，向使用燃料排氣流加熱燃料引入流的陽極複熱器(例如燃料熱交換器)137之燃料入口側中提供重組催化劑137A。因此，陽極複熱器為組合之熱交換器/重組器。對於顯示於圖15A中之垂直/軸向陽極複熱

器 137，SMR 重組催化劑(例如鎳及/或銻)137A 可沿複熱器 137 之燃料入口側的整個長度提供或僅在複熱器之燃料入口側較低部分中提供。其亦可包含熱交換器排氣之後的分離零件。成信主要重組發生在陽極複熱器之燃料入口側的底部。因此，為促進 SMR 反應向陽極複熱器 137 之含催化劑 137A 部分中之燃料引入流提供的僅有熱量係來自與燃料排氣流的熱交換，其原因在於陽極複熱器利用顯示於圖 15A、圖 16、圖 17B 及圖 18B 中之絕熱體 10B 與 ATO 10 及堆疊 9 隔熱。

如需要額外催化劑活性，可將塗有催化劑之插件插入恰好位於燃料電池堆疊 9 之前的燃料饋入管 21 內。燃料饋入管 21 包含將陽極複熱器 137 之燃料入口側輸出與燃料電池堆疊或塔 9 之燃料入口連接的管道或管。管道 21 可如圖 15A 中所示水平位於熱箱底座 500 上方及/或如圖 15B 中所示垂直位於熱箱底座 500 上方。此催化劑對於陽極複熱器 137 底部之塗有催化劑之散熱片而言為補充或獨立特徵。必要時，催化劑可置放於小於 100% 的燃料饋入管中(亦即催化劑可置放於一些但非全部的管道 21 中及/或催化劑可安置在各管道或一些管道的僅部分長度中)。在熱箱底部置放的 SMR 催化劑亦可充當底部模組的溫度散熱器。

圖 15C 及圖 15D 說明可用作陽極複熱器/預重組器 137 管插件催化劑或用作管道 21 中插件的塗有催化劑之插件 1302a、1302b 的實施例。塗有催化劑之插件 1302a 具有一般螺旋組態。塗有催化劑之插件 1302b 包括一連串一般平



行的線叢1304。

預重組器管插件催化劑之實施例可具有一或多個以下優點：必要時的額外重組長度及當塔底模組與所需相比較熱時與底部模組耦合吸熱的能力。

### 陽極流結構及流輪轂

圖16說明本發明之一個實施例的陽極流結構。陽極流結構包括圓筒形陽極複熱器(亦稱為燃料熱交換器)/預重組器137、固定在陽極複熱器上之上述陽極冷卻器(亦稱為空氣預加熱器)熱交換器100及陽極尾氣氧化器(ATO)10。

ATO 10包含圍繞內部ATO絕熱體10B/陽極複熱器137之外壁安置的外部圓筒體10A。如圖18B中所示，絕熱體10B視情況可由內部ATO圓筒體10D封閉。因此，絕熱體10B安置在外部陽極複熱器圓筒體與內部ATO圓筒體10D之間。氧化催化劑10C位於外部圓筒體10A與ATO絕熱體10B(或內部ATO圓筒體10D(若存在))之間的空隙中。ATO熱電偶引線1601延伸穿過陽極排氣冷卻式熱交換器100及陰極複熱器200至ATO 10之頂部。從而可藉由此引線1601插入熱電偶(未圖示)來監測ATO溫度。

陽極輪轂結構600位於陽極複熱器137及ATO 10下方及熱箱底座500上方。陽極輪轂結構由ATO裙套1603覆蓋。組合之ATO混合器801/燃料排氣分流器107位於陽極複熱器137及ATO 10上方及陽極冷卻器100下方。ATO預熱塞1602(其有助於ATO中堆疊燃料排氣之氧化)可位於ATO底部附近。圖16中亦說明位於燃料電池單元下方的提昇底座

1604。在一實施例中，提昇底座1604包括兩個可供叉車之叉插入以提昇及移動燃料電池單元的中空臂，以便自箱(未圖示)中移出燃料電池單元用於修復或保養。

圖17A說明一實施例之陽極流輪轂結構600。輪轂結構600用於將燃料自中央充氣室均勻分佈至複數個燃料電池堆疊或塔中。陽極流輪轂結構600包括凹槽狀澆鑄底座602及燃料入口管21及出口管23A的「蜘蛛狀」輪轂。各對管道21、23A與複數個堆疊或塔之一連接。隨後，將陽極側圓筒體(例如陽極複熱器137內部及外部圓筒體及ATO外部圓筒體10A)焊接或銅焊至底座602之凹槽中，產生用於流動分佈之均一體積橫截面，分別如圖17B、圖17C及圖18中所示。「蜘蛛狀」燃料管21、23A自陽極流輪轂600伸展至堆疊中，在堆疊中其焊接至垂直燃料軌條(參見例如圖1中元件94)。陽極流輪轂600可藉由熔模鑄造及機械加工而形成且相對於銅焊大直徑板的先前技術方法大幅簡化。

如圖17B及圖17C(側視橫截面圖)及圖17D(俯視橫截面圖)中所示，陽極複熱器137包括內部圓筒體139、波狀指孔板或圓筒體137B及塗有ATO絕熱體10B的外部圓筒體137C。圖17B顯示燃料引入流1729自燃料入口管29、經由陽極冷卻器100中空核心繞過陽極冷卻器100，隨後進入圓筒體139與137B之間陽極複熱器137中，且隨後經由輪轂底座602及管道21進入堆疊或塔9(流1721)(亦顯示於圖20中)。圖17C顯示燃料排氣流1723A自堆疊或塔9、經由管道23A進入輪轂底座602，且自輪轂底座602、經由圓筒體

137B與137C之間陽極複熱器137進入分流器107中。來自分流器107之燃料排氣流體流之一部分流經上述陽極冷卻器100，而另一部分自分流器107流入ATO 10中。如圖16、圖17B及圖17C中所示，陽極冷卻器內核絕熱體100A可位於燃料入口管29與波紋管852/支撐圓筒體852A之間，波紋管852/支撐圓筒體852A位於陽極冷卻器100與ATO混合器801之間。此絕熱體使陽極排氣流在去往陽極冷卻器100之管道31中的熱傳遞及損失最小化。絕熱體100A亦可位於管道29與陽極冷卻器100之間以避免管道29中燃料引入流與陽極冷卻器100中之流之間的熱傳遞。另外，必要時，另一絕熱體可位於波紋管852/圓筒體852A周圍(亦即圍繞波紋管/圓筒體之外表面)。

圖17C亦顯示空氣引入流自管道33、經由陽極冷卻器100(其中其與燃料排氣流交換熱量)進入上述陰極複熱器200中。

陽極流輪轂600之實施例可具有一或多個以下優點：製造方法成本較低、必要時能夠在重組製程中使用燃料管及減少夾具。

#### ATO空氣渦旋元件

在本發明之另一實施例中，本發明者認識到在圖1至圖9所示之先前技術系統中，可改良方位角流動混合以避免流體流將熱區域或冷區域集中在熱箱1的一側。如本文所用之方位角流動包括自代表圓筒體中心至圓筒體外壁之徑向方向的直線沿順時針或逆時針方向彎離的角方向流動，且

包括(但不限於)旋轉、渦旋或螺旋流動。本發明之該實施例提供含有葉片之渦旋元件用於將渦旋引入提供至ATO 10中之空氣流，以促進更均勻的操作條件(諸如溫度及流體流組成)。

如圖18A、圖18B及圖18C中所示，ATO混合器801之一個實施例包含轉向葉片總成，其沿方位角及/或徑向移動ATO上的堆疊空氣排氣流熱量以降低徑向溫度梯度。圓筒形混合器801位於ATO 10上方且可向外延伸超過外部ATO圓筒體10A。如以下將更詳細描述，混合器801較佳與燃料排氣分流器107整合。

圖18B為圖18A所示之ATO 10及混合器801之輪廓部分的特寫三維剖視橫截面圖。圖18C為整合式ATO混合器801/燃料排氣分流器107的三維剖視橫截面圖。

如圖18A中所示，轉向葉片總成ATO混合器801可包含位於外殼805內之兩個或兩個以上葉片803(其亦可稱為偏轉器或隔板)。外殼805為圓筒形且分別含有內表面805A及外表面805B(如圖18C中所示)，但一般在頂部開孔以接收經由空氣排氣管或歧管24來自堆疊9的陰極排氣流。葉片803可為彎曲的或其可為直的。轉向葉片803之形狀可以黃金比率弧形或以懸垂曲線形狀彎曲以便使旋轉效應引起的壓降最小化。

葉片803相對於ATO圓筒體10A、10D之垂直(亦即軸向)方向傾斜10度至80度、諸如30度至60度之角度(亦即斜交定位)，從而以方位角方向導引陰極排氣1824。在各葉片

803底座處，設置進入ATO 10(例如進入ATO圓筒體10A與10D之間的含催化劑10C之空間)的開孔807。如圖18C中所示，開孔807使來自總成801之陰極排氣1824沿方位角進入ATO中。雖然總成801稱為轉向葉片總成，但應注意總成801並不圍繞其軸旋轉或轉向。術語「轉向」係指陰極排氣流1824沿方位角方向轉向。

總成801可包含澆鑄金屬總成。因此，空氣離開燃料電池堆疊，被迫向下流入ATO混合器801中。導流葉片803誘導空氣排氣流1824產生渦旋且導引空氣排氣流1824向下進入ATO中。渦旋引起局部熱點及冷點的平均化且限制此等溫度分佈不均的影響。ATO空氣渦旋元件之實施例可改良溫度分佈，其允許全部堆疊在較近點操作、降低熱應力、減小組件扭曲且延長操作壽命。

#### **ATO燃料混合器/噴射器**

先前技術系統包括分別進入ATO中的外部燃料引入流。本發明之一個實施例提供作為唯一燃料輸入進入ATO中的燃料排氣流。因此，可消除各別的外部ATO燃料引入流。

如以下將更詳細描述及如圖17C及18C中所示，經由管道23B離開陽極複熱器137之燃料排氣流1823B提供至分流器107中。分流器107位於陽極複熱器137之燃料排氣出口管23B與陽極冷卻器100(例如空氣預加熱熱交換器)之燃料排氣入口之間。分流器107將燃料排氣流分成兩股流。向ATO 10提供第一流18133。第二流經由管道31提供至陽極冷卻器100中。

分流器 107 含有一或多個顯示於圖 18B 及 18C 中的狹縫或狹槽 133 以允許分流器 107 起 ATO 燃料噴射器的作用。分流器 107 將第一燃料排氣流 18133 經由狹縫或狹槽 133 噴射至 ATO 10 中。狹縫 133 下方之口緣及/或狹縫之方向迫使燃料進入空氣排氣流 1824 之中部，而非讓燃料排氣流沿 ATO 壁 10A 或 10D 流動。在 ATO 壁 10A 和 10D 之間的流動通道中部混合燃料與空氣流可使最高溫度區位於流體流中而非相鄰壁上。如圖 17C 中所示，未穿過狹縫 133 之第二燃料排氣流繼續向上行進進入管道 31 中。作為第一燃料排氣流經由狹縫 133 提供至 ATO 中之燃料排氣相對於作為第二燃料排氣流進入管道 31 中的量係由陽極再循環鼓風機 123 速度控制 (參見圖 17C 及圖 20)。鼓風機 123 速度較高，則較大部分燃料排氣流提供至管道 31 中且較小部分燃料排氣流提供至 ATO 10 中，且反之亦然。

ATO 燃料噴射器之替代性實施例包括多孔介質、簇射頭型特徵、及尺寸及幾何形態不同的狹縫。

如圖 18C 中所示，分流器 107 較佳包含具有 ATO 混合器 801 之整體澆鑄結構。分流器之狹縫 133 位於葉片 803 下方，使得經葉片以方位角旋轉、同時向下流至 ATO 10 中的空氣排氣流可使穿過狹縫 133 進入 ATO 空氣排氣蒸汽中的第一燃料排氣流產生類似旋轉。或者，分流器 107 可包含銅焊環，其藉由與其支撐結構隔開來形成 ATO 噴射狹縫 133。

陰極排氣渦旋元件

堆疊亦可圍繞其軸稍微旋轉，使得面向堆疊環之中央的堆疊面並不徑向對準，而是相對於彼此以微小非零角(諸如1度至20度)定位。由此可使離開堆疊向熱箱中心軸移動的陰極排氣流(空氣)產生輕微渦旋。此渦旋作用之優點為摻合不同塔之陰極排氣溫度，從而產生更均勻的溫度分佈。圖18D說明圖3A之燃料電池系統的俯視圖，其中旋轉堆疊14應使得面向堆疊環中央之堆疊面14a並不徑向對準。換言之，由虛線顯示之面14a與形成堆疊14環之內部的圓不相切，而是錯開切線1度至20度。

#### 堆疊電端子及絕熱體

先前技術系統包括經由若干引線貫穿陽極基板及熱箱基板的集電棒。各引線具有陶瓷及金屬密封元件的組合。然而，多板貫穿需要在各板處密封集電棒以防止引入與排出空氣流之間的洩漏及排氣流向機外洩漏空氣。然而，任何洩漏均降低熱箱的總效率且可引起局部熱不平衡。

圖16及圖19中說明簡化堆疊電端子(例如集電棒950)之一實施例。在此實施例中，堆疊支撐底座500含有橋連管900，其消除對密封元件之一的需要。橋連管900可由電絕緣材料(諸如陶瓷)製成或其可由連接至底座盤502外部之陶瓷管的導電材料製成。使用橋連管900消除空氣進入或空氣離開洩漏路徑。集電器/電端子950在橋連管900中自澆鑄熱箱底座500之頂部途經底座絕熱體501且自底座盤502引出。薄片金屬保持器503可用來將管900固定至底座盤502。

管 900 可在具有超級棉 901 及 / 或「自由流動」絕熱材料 902 之底座中絕熱。「自由流動」絕熱體 902 為可傾入底座 500 中圍繞管 900 之開孔中的流體，但當固化時固化成耐高溫材料。

簡化堆疊電端子之實施例可具有一或多個以下優點：因消除重複密封元件而消除交叉洩漏風險且降低成本及因空氣損耗降低而改良系統效率。

在一替代性實施例中，ATO 絕熱體 10B 及陽極冷卻器內核絕熱體 100A (顯示於圖 16A 中) 亦可包含自由流動絕熱體。另外，如圖 12A 中所示，外部圓筒體 330 可圍繞熱箱之外殼建造。隨後，外部圓筒體 330 與熱箱外殼之間間隙可用自由流動絕熱體填充。熱箱外殼形成自由流動絕熱體之內部圍阻表面。

#### 方法流程圖

圖 20 為熱箱 1 組件之示意性方法流程圖，其根據本發明之另一實施例顯示流經組件之各種流。此實施例中之組件可具有先前實施例中所述之組態或不同之適當組態。在此實施例中，無燃料及空氣輸入 ATO 10 中。

因此，與先前技術系統相反，外部天然氣或另一外部燃料不饋入至 ATO 10 中。代之為，來自燃料電池堆疊 9 之熱燃料 (陽極) 排氣流作為 ATO 燃料引入流部分再循環至 ATO 中。同樣地，無外部空氣輸入 ATO 中。代之為，來自燃料電池堆疊 9 之熱空氣 (陰極) 排氣流作為 ATO 空氣引入流提供至 ATO 中。



另外，燃料排氣流在位於熱箱1之分流器107中分流。分流器107位於陽極複熱器(例如燃料熱交換器)137之燃料排氣出口與陽極冷卻器100(例如空氣預加熱式熱交換器)之燃料排氣入口之間。因此，燃料排氣流在進入陽極冷卻器100之前在混合器105與ATO 10之間分流。由此使提供至ATO中之燃料排氣流溫度高於先前技術，其原因在於燃料排氣流尚未與空氣引入流在陽極冷卻器100中發生熱交換。舉例而言，自分流器107提供至ATO 10中之燃料排氣流可具有高於350°C、諸如350°C至500°C、例如375°C至425°C、諸如390°C至410°C之溫度。另外，因為提供至陽極冷卻器100中之燃料排氣量較小(例如因為陽極排氣在分流器107中分流，所以並非100%陽極排氣提供至陽極冷卻器中)，所以可減小上述陽極冷卻器100之熱交換面積。

陽極排氣在進入陽極冷卻器之前在熱箱中分流具有以下益處：因陽極排氣冷卻器之熱交換面積較小而使成本降低、因陽極再循環鼓風機123功率減小而使效率增加及因較少流體通過而使熱箱機械複雜性降低。

消除外部ATO空氣之益處包括因不需要各別ATO燃料鼓風機而降低成本、因在穩定狀態或緩升至穩定狀態期間不需要額外燃料消耗而增加效率、與陽極氣體再循環組件鄰接之熱箱頂部的燃料入口簡化及因ATO中甲烷相對難以氧化而降低來自系統的有害排放。若不向ATO中添加外部甲烷/天然氣，則其無法滑動。

消除外部ATO燃料之益處包括由於不需要各別ATO空氣

鼓風機及ATO催化劑/催化劑載體需要量減小(由於與新鮮外部燃料及空氣流相比，陽極及陰極排氣流的平均溫度較高)而使成本降低、因陰極排氣流較低而使陰極側壓降低、因消除為驅動ATO空氣鼓風機所需的功率及降低主要空氣鼓風機125功率(因陰極側壓降較低)而使效率增加、因ATO用更多過量空氣操作而降低有害排放、及因ATO起動後始終保持足以用於燃料氧化的熱狀態而使ATO操作潛在更穩定。

熱箱1含有複數個燃料電池堆疊9，諸如固態氧化物燃料電池堆疊(其中堆疊之一個固態氧化物燃料電池含有陶瓷電解質(諸如氧化釷穩定化二氧化鋯(YSZ)或氧化釷穩定化二氧化鋯(SSZ))、陽極電極(諸如鎳-YSZ或Ni-SSZ金屬陶瓷)及陰極電極(諸如亞錳酸鋁(LSM)))。如圖13A中所示，堆疊9可在複數個塔中排列於彼此上方。

熱箱1亦含有蒸汽產生器103。水(亦即連續供水)自水源104(諸如水箱或水管)、經由管道30A提供至蒸汽產生器103且將水轉化成蒸汽。蒸汽自產生器103經由管道30B提供至混合器105中且與堆疊陽極(燃料)再循環流在混合器105中混合。混合器105可位於熱箱1之熱箱內部或外部。如圖20中示意性顯示，濕潤的陽極排氣流較佳與燃料引入流在混合器105下游之燃料入口管線或管道29中合併。或者，必要時，亦可將燃料引入流直接提供至混合器105中，或可將蒸汽直接提供至燃料引入流中及/或可將陽極排氣流直接提供至燃料引入流中，隨後使合併之燃料流濕

潤。

如圖 12F 中所示，蒸汽產生器 103 利用管道 119 中與蒸汽產生器 103 呈熱交換關係通過的熱 ATO 10 排氣流進行加熱。

系統操作如下。燃料引入流(諸如煙流，例如天然氣)提供至燃料入口管 29 中且通過位於熱箱外部的催化性部分加壓氧化器 (CPOx) 111。在系統起動期間，亦將空氣經由 CPOx 空氣入口管 113 提供至 CPOx 反應器 111 中以使燃料引入流發生催化性部分氧化。在穩態系統操作期間，關閉空氣流且 CPOx 反應器充當燃料不發生部分氧化的燃料通道。因此，熱箱 1 可包含僅一個燃料入口管，其在起動及穩態模式中經由 CPOx 反應器 111 提供燃料。因此，不需要在穩態操作期間繞過 CPOx 反應器之各別燃料入口管。

燃料引入流提供至燃料熱交換器(陽極複熱器)/預重組器 137 中，其中其溫度因與堆疊 9 陽極(燃料)排氣流熱交換而提昇。燃料引入流在熱交換器 137(例如，如圖 15A 中所示)之預重組段中經由 SMR 反應預重組，且重組之燃料引入流(其包括氫氣、一氧化碳、水蒸汽及未重組之甲烷)經由燃料入口管 21 提供至堆疊 9 中。如以上參照圖 15A 且圖 15B 所述，另一重組催化劑可位於管道 21 中。燃料引入流經由堆疊 9 中之燃料引入提昇管向上通過堆疊且在電產生期間在堆疊 9 中氧化。氧化之燃料(亦即陽極或燃料排氣流)經由燃料排氣提昇管、沿堆疊 9 向下行進且隨後經由燃料排氣管 23A 自堆疊排入燃料熱交換器 137 中。

在燃料熱交換器137中，陽極排氣流經由熱交換加熱燃料引入流。陽極排氣流隨後經由燃料排氣管23B提供至分流器107中。陽極排氣流之第一部分經由管道(例如狹縫)133自分流器107提供至ATO 10中。

陽極排氣流之第二部分自分流器107再循環至陽極冷卻器100中且隨後進入燃料引入流中。舉例而言，陽極排氣流之第二部分經由管道31再循環至陽極冷卻器(亦即空氣預加熱熱交換器)中，在該陽極冷卻器中，陽極排氣流預加熱來自管道33之空氣引入流。陽極排氣流隨後利用陽極再循環鼓風機123提供至混合器105中。陽極排氣流在混合器105中藉由與蒸汽產生器103所提供之蒸汽混合而加濕。加濕之陽極排氣流隨後自混合器105經由加濕陽極排氣流管121提供至燃料入口管29中，在該燃料入口管29中，其與燃料引入流混合。

空氣引入流利用主要空氣鼓風機125自空氣入口管33提供至陽極冷卻式熱交換器100中。如上所述，鼓風機125可包含用於整個系統的單一空氣流控制器。在陽極冷卻式熱交換器100中，空氣引入流利用陽極排氣流經由熱交換進行加熱。如圖12F及圖20中所示，加熱之空氣引入流隨後經由管道314提供至空氣熱交換器(陰極複熱器200)中。加熱之空氣引入流自熱交換器200、經由空氣入口管及/或歧管25提供至堆疊9中。

空氣通過堆疊9進入陰極排氣管24中且經由管道24及混合器801進入ATO 10中。在ATO 10中，空氣排氣流將來自

管道133之陽極排氣流之所分流的第一部分氧化以產生ATO排氣流。ATO排氣流經由ATO排氣管27排入空氣熱交換器200中。ATO排氣流在空氣熱交換器200中經由熱交換加熱空氣引入流。ATO排氣流(其仍高於室溫)隨後經由管道119自空氣熱交換器200提供至蒸汽產生器103中。如圖12F中所示，來自ATO排氣流之熱量用於在蒸汽產生器103中經由熱交換將水轉化成蒸汽。隨後，ATO排氣流經由排氣管35自系統中移除。因此，藉由控制空氣入口鼓風機輸出(亦即功率或速度)，可控制引入系統中的空氣量值(亦即體積、壓力、速度等)。陰極(空氣)及陽極(燃料)排氣流用作各別ATO空氣及燃料引入流，從而消除對各別ATO空氣及燃料入口控制器/鼓風機的需要。另外，因為ATO排氣流用於加熱空氣引入流，所以利用鼓風機125控制管道33中單一空氣引入流的速率可用來控制堆疊9及ATO 10的溫度。

因此，如上所述，藉由使用變速鼓風機125及/或控制閥改變管道33中之主要空氣流可維持堆疊9溫度及/或ATO 10溫度。在此情況下，經由鼓風機125或閥門控制主要空氣流速率起主要系統溫度控制器的作用。另外，ATO 10溫度可藉由改變燃料利用率(例如，堆疊9產生之電流與向堆疊9提供之燃料引入流的比率)來控制。最後，管道31及117中之陽極再循環流可利用變速陽極再循環鼓風機123及/或控制閥進行控制，以控制進入ATO 10之陽極排氣與用於陽極再循環至混合器105及燃料入口管29中的陽極排氣之間

的分流。

任何實施例之任一或多個特徵均可與一或多個其他實施例之任一或多個其他特徵任意組合使用。如各種例示性實施例中所示之燃料電池系統之結構及配置僅具說明性。儘管本發明僅詳細描述幾個實施例，然而在不實質上背離本文所述之主題的新穎教示及優點的情況下可進行許多修改(例如各種元件之大小、尺寸、結構、形狀及比例、參數值、安裝配置、材料用途、顏色、定位等方面的變化)。所示整體形成的某些元件可由多種零件或元件建造，元件之位置可顛倒或以其他方式改變，且個別元件或位置之性質或編號可變更或改變。任何製程、邏輯算法或方法步驟之次序或順序可根據替代性實施例改變或再定序。在不背離本發明範疇的情況下，亦可在各種例示性實施例之設計、操作條件及配置中作出其他替代、修改、變化及省略。

### 【圖式簡單說明】

圖1為具有整合式SOFC及燃料處理器之先前技術燃料電池單元的剖視圖。

圖2A及圖2B為顯示圖1之先前技術燃料電池單元之一半的剖視圖，其中圖2A說明陰極饋料流及排氣流且圖2B說明陽極饋料流及排氣流。

圖3A為取自圖1中線3A-3A的剖視圖，但僅顯示燃料電池單元之所選組件。

圖3B為取自圖3A中線3B-3B的略帶示意性之放大圖。

圖 3C 為說明為圖 1 之整合單元內所含之若干熱交換器所共有之結構細節的部分剖視圖。

圖 4A 及圖 4B 為圖 1 之整合單元之陽極排氣冷卻器組件的分解透視圖。

圖 4C 為顯示圖 4A 及圖 4B 之組件在其裝配狀態下的透視圖。

圖 4D 為顯示裝配組件與圖 1 整合單元之陽極複熱器一起的分解透視圖。

圖 4E 為顯示燃料電池堆疊、陽極複熱器及陽極冷卻器之組件與圖 1 整合單元之絕熱盤及熱屏蔽外殼一起的分解透視圖。

圖 5 為顯示圖 4E 組件之裝配狀態的透視圖。

圖 6 為顯示陰極複熱器總成與圖 1 整合單元之其他組件一起的分解透視圖。

圖 7 為顯示圖 6 之裝配組件與圖 4 之裝配組件一起的分解透視圖。

圖 8 為顯示圖 7 之裝配組件與圖 1 整合單元之外殼一起的分解透視圖。

圖 9 為圖 1 之燃料電池單元的示意圖。

圖 10A 為一實施例之具有兩個指孔板之陽極排氣冷卻式熱交換器的分解圖。

圖 10B 為圖 10A 之例示性陽極排氣冷卻式熱交換器的像片。

圖 10C 為顯示具有指孔板之陽極排氣冷卻式熱交換器中

軸向氣流入口/出口的示意圖。

圖 10D 為顯示蓋環之陽極排氣冷卻式熱交換器中之非軸向氣流入口/出口的示意圖。

圖 11A 為圖 10A 之陽極排氣冷卻式熱交換器之一部分的俯視剖視圖。

圖 11B 為位於圖 10A 之陽極排氣冷卻式熱交換器上之隔板的側視剖視圖。

圖 11C 為一實施例之引流裝置的示意圖。

圖 11D 為位於圖 10A 之陽極排氣冷卻式熱交換器上之隔板的半透明三維視圖。

圖 11E 為說明一實施例之陽極排氣冷卻式熱交換器及燃料入口管的三維視圖。

圖 11F 為圖 11E 之陽極排氣冷卻式熱交換器及燃料入口管的三維剖視圖。

圖 12A 至圖 12H 為一實施例之陰極複熱器的剖視圖。

圖 13A 說明一實施例之位於一或多個燃料電池塔頂部之單殼複熱器的剖視圖。

圖 13B 為說明一實施例之單殼複熱器及波紋管的剖視圖。

圖 14 為一實施例之陰極排氣蒸汽產生器結構的剖視圖。

圖 15A 為一實施例之垂直/軸向陽極複熱器之三維剖視圖。

圖 15B 為說明位於熱箱底座之燃料入口及燃料出口管的剖視圖。



圖 15C 及圖 15D 為蒸汽甲烷重組器之塗有催化劑之插件之實施例之三維視圖。

圖 16 為一實施例之陽極流結構之三維剖視圖。

圖 17A 為一實施例之陽極輪轂流結構之三維視圖。

圖 17B 及圖 17C 為一實施例之陽極複熱器的側視橫截面圖。

圖 17D 為圖 17B 及圖 17C 之陽極複熱器的俯視剖視圖。

圖 18A 為一實施例之陽極尾氣氧化器的三維視圖。

圖 18B 及圖 18C 為圖 18A 之陽極尾氣氧化器之三維剖視圖。

圖 18D 為顯示一實施例之陰極排氣渦旋元件之燃料電池系統的俯視示意圖。

圖 19 為說明一實施例之堆疊電連接及絕熱體的三維剖視圖。

圖 20 為說明一實施例之熱箱的示意性方法流程圖。

#### 【主要元件符號說明】

1	熱箱
9	燃料電池堆疊或塔
10	整合式燃料電池單元/陽極尾氣氧化器(ATO)
10A	外部圓筒體
10B	絕熱體
10C	氧化催化劑
10D	內部 ATO 圓筒體
12	環形陣列

- 14 燃料電池堆疊
- 14a 堆疊之面
- 16 中心軸
- 17 徑向面向外側之面
- 18 徑向面向內側的面
- 20 環形陰極複熱器
- 21 燃料饋入管
- 22 環形陽極複熱器
- 23A 燃料出口管
- 23B 燃料排氣管
- 24 重組器/陰極排氣管
- 25 空氣入口管及/或歧管
- 26 環形陽極排氣冷卻器/陰極預熱器
- 27 管道
- 28 外殼結構
- 29 燃料入口管
- 29a 燃料引入孔
- 29b 波紋管
- 29c 凸緣
- 30 陽極饋料口
- 30A 水入口管
- 30B 蒸汽出口管
- 31 管道
- 32 陽極排氣口

33	空氣入口管或歧管
33a	空氣入口管外殼
33b	空氣引入孔
34	陰極饋料口
35	陰極排氣管
36	陰極排氣口
37	陽極燃燒氣體入口
38	陽極排氣燃燒器
39	陽極排氣流
40	陽極燃燒氣流
41	燃料流
42	陽極排氣流
43	閥門
44	陰極饋料
46	環形通道
48	徑向通道
50	環形通道
52	環形饋料歧管區域
56	陰極排氣
58	環形排氣歧管區域
60	環形通道
62	合併之燃燒氣流40及陰極排氣56
64	中央開孔
66	徑向通道

68	環形排氣流通道
70	徑向通道
72	最終環形通道
80	陽極饋料
82	環形通道
84	徑向流動通道
86	充氣室
90	整合之壓力板/陽極饋料歧管
92	堆疊饋料口
94	陽極饋入/返回總成
96	陽極排氣
98	堆疊口
100	陽極排氣口/陽極排氣冷卻式熱交換器/陽極 冷卻器(空氣預加熱式熱交換器)
100a	環形絕熱體
100b	空腔
101a	隔板
101b	引流裝置
101c	偏移隔板
102	陽極排氣管
102a	指孔板
102b	指孔板
102c	端蓋或蓋環
103	蒸汽產生器

- 104 陽極排氣流動通道/散熱片/水源/水箱
- 105 混合器
- 106 環形流動通道
- 107 燃料排氣分流器
- 108 管狀通道
- 110 隔板/蓋板
- 111 催化部分加壓氧化(CPOx)反應器
- 112 環形通道
- 113 CPOx空氣入口管
- 114 隔板/蓋板
- 116 隔板
- 117 環形陽極排氣管
- 119 管道
- 121 加濕之陽極排氣流管
- 123 陽極再循環鼓風機
- 125 主要空氣鼓風機
- 133 管道/狹縫或狹槽
- 133A 口緣
- 137 燃料熱交換器(陽極複熱器)/預重組器
- 137A 重組器催化劑
- 137B 波狀指孔板或圓筒體
- 137C 外部圓筒體
- 139 內部圓筒體
- 200 單殼陰極複熱器/空氣熱交換器

202A	熱屏蔽絕熱體內側
202B	熱屏蔽絕熱體外側
204	熱屏蔽外殼
206	波紋管
210	空氣引入流出口
211	電極套管
280	環形陣列
282	管組
284	扁平管
300	波狀或蛇狀散熱片結構
302	波狀或蛇狀散熱片結構
302A	頂蓋、板或封蓋
304	圓筒形壁或管/圓筒形波狀散熱片板或片
306	圓筒形擋流板/熱屏
308	環形擋流板/排氣隔板
309	支撐肋狀物
310	螺栓凸緣/蒸汽旋管組
311	波紋管
312	波狀或蛇狀散熱片結構/外部封蓋
313	焊接環
314	波狀或蛇狀散熱片結構/溫空氣輸出管
316	圓筒形管壁
320	圓筒形壁或管
322	絕熱套管

- 324 圓筒形排氣管
- 328 圓錐狀凸緣
- 330 圓筒形壁或管/外部圓筒體
- 332 圓錐狀隔板
- 334 歧管盤
- 336 中央開孔
- 338 陽極排氣管接收孔
- 350 熱屏蔽總成
- 352 內側圓筒形外殼
- 354 外側圓筒形外殼
- 356 絕熱套管
- 358 盤狀蓋板
- 360 電極間隙開孔
- 361 絕熱盤
- 362 波狀或蛇狀散熱片結構
- 364 波狀或蛇狀散熱片結構
- 366 圓筒形管或壁
- 368 盤狀蓋板
- 370 中央開孔
- 372 電極間隙開孔
- 376 圓筒形管或套管
- 378 環形螺栓凸緣
- 380 環形螺栓凸緣
- 382 絕熱套管

384	圓筒形壁或罩
400	凸緣
402	凸緣/陶瓷塔
402A	連鎖陶瓷側隔板
402B	連鎖陶瓷側隔板
402C	連鎖陶瓷側隔板
404	燃料歧管
406	彈簧加壓總成
408	蓋
440	蒸汽產生器
442	水流
448	蒸汽流
460	空氣冷卻陽極冷凝器
462	鼓風機
464	鼓風機
466	鼓風機
500	熱箱底座
501	底座絕熱體
502	底座盤
503	薄片金屬保持器
600	陽極輪轂結構
602	溝鑄型底座
801	ATO混合器
803	葉片



805	外殼
805A	內表面
805B	外表面
807	開孔
850	額外波紋管
852	額外波紋管
852A	支撐圓筒體
900	橋連管
901	超級棉
902	「自由流動」絕熱材料
950	集電器/電端子
1131	熱流體流
1133	冷流體流
1217	陰極排氣
1225	空氣引入流
1227	空氣(亦即陰極)排氣流
1302a	塗有催化劑之插件
1302b	塗有催化劑之插件
1304	線叢
1601	ATO熱電偶引線
1602	ATO預熱塞
1603	ATO裙套
1604	提昇底座
1721	燃料引入流

1723A	燃料排氣流
1729	燃料引入流
1823B	燃料排氣流
1824	空氣排氣流
12314	空氣引入流
18133	第一燃料排氣流
A	圓筒形壁
B	圓筒形壁
C	圓筒形壁
D	流動通道
E	流動通道
G	波狀或蛇狀散熱片結構
H	波狀或蛇狀散熱片結構

## 七、申請專利範圍：

### 1. 一種熱交換器，其包含：

包含指孔板或端蓋之頂部外殼；

包含指孔板或端蓋之底部外殼；及

該頂部外殼與該底部外殼之間的波紋片；

其中該熱交換器經組態使得第一流體在該波紋片之一側流動且第二流體在該波紋片之對側流動，且其中

該頂部外殼及該底部外殼各自包含指孔板或端蓋，或該頂部外殼及該底部外殼中之一者包含指孔板且該頂部外殼及該底部外殼中之另一者包含端蓋；

該熱交換器包含用於固態氧化物燃料電池系統之陽極冷卻式熱交換器；

該第一流體包含來自固態氧化物燃料電池堆疊之燃料排氣；及

該第二流體包含該固態氧化物燃料電池堆疊之空氣入口。

### 2. 如請求項1之熱交換器，其中：

該頂部外殼包含頂部指孔板；

該底部外殼包含底部指孔板；

該波紋片包含圓筒形金屬片；

該頂部指孔板包含中空環形板，該中空環形板具有延伸至該環內部中之指形延長部分；

該底部指孔板包含中空環形板，該中空環形板具有延伸至該環內部中之指形延長部分；及

該頂部指孔板與該底部指孔板彼此錯開一個波紋，使得該頂部指孔板之指孔覆蓋該波紋片中之每一個內向或外向凹部，且該底部指孔板之指孔覆蓋該波紋片中之其他每一個內向或外向凹部。

3. 如請求項1之熱交換器，其中：

該波紋片之第一側與連接至該固態氧化物燃料電池堆疊之該燃料排氣的燃料排氣管流體連通且與來自陽極複熱式熱交換器的排氣管流體連通；及

該波紋片之第二側與空氣引入流管流體連通。

4. 一種陰極複熱器單殼，其包括包含單一圓筒形波狀散熱片板之單塊總成、包含指孔板或端蓋之頂部外殼及包含指孔板或端蓋之底部外殼，

其中該陰極複熱器單殼經組態以使第一流體在該單一圓筒形波狀散熱片板之一側流動且第二流體在該單一圓筒形波狀散熱片板的對側流動；及其中該陰極複熱器單殼擱置於塔支座上，向固態氧化物燃料電池堆疊之塔提供內部加壓。

5. 一種陰極複熱器單殼，其包括包含單一圓筒形波狀散熱片板之單塊總成、包含指孔板或端蓋之頂部外殼及包含指孔板或端蓋之底部外殼，

其中該陰極複熱器單殼經組態以使第一流體在該單一圓筒形波狀散熱片板之一側流動且第二流體在該單一圓筒形波狀散熱片板的對側流動；

該陰極複熱器單殼另外包含：

內部加壓系統，包含促使該陰極複熱器單殼之重量作用於複數個燃料電池塔上之彈簧或重力負載系統中至少一者；及

圓筒體中支撐該陰極複熱器單殼的膨脹波紋管。

6. 一種陰極複熱器單殼，其包括包含單一圓筒形波狀散熱片板之單塊總成、包含指孔板或端蓋之頂部外殼及包含指孔板或端蓋之底部外殼，

其中該陰極複熱器單殼經組態以使第一流體在該單一圓筒形波狀散熱片板之一側流動且第二流體在該單一圓筒形波狀散熱片板的對側流動；

該陰極複熱器單殼另外包含位於該陰極複熱器單殼上方的蒸汽產生器，其中該蒸汽產生器包含蒸汽產生器旋管，該蒸汽產生器旋管與該陰極複熱器之陰極排氣出口流體連通以允許在該旋管中使用離開該陰極複熱器出口之堆疊陰極排氣流的熱量將水轉化成蒸汽。

7. 如請求項6之陰極複熱器單殼，其中該蒸汽產生器旋管由隔板支撐。