



(19)中華民國智慧財產局

(12)發明說明書公開本

(11)公開編號：TW 202332106 A

(43)公開日：中華民國 112 (2023) 年 08 月 01 日

(21)申請案號：111142525

(22)申請日：中華民國 111 (2022) 年 11 月 08 日

(51)Int. Cl.：

*H01M8/04007(2016.01)**H01M8/04014(2016.01)**H01M8/04082(2016.01)**H01M8/04089(2016.01)**H01M8/04223(2016.01)**H01M8/0662 (2016.01)**H01M8/10 (2016.01)**H01M8/1246 (2016.01)**H01M8/2425 (2016.01)**H01M8/2465 (2016.01)**H01M8/249 (2016.01)*

(30)優先權：2021/11/12

美國

63/278,762

2022/03/09

美國

63/269,072

2022/05/17

美國

63/364,843

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

美國

(72)發明人：威爾納 大衛 WEINGAERTNER, DAVID (US)；楚卡 麥可 PETRUCHA,

MICHAEL (US)

(74)代理人：陳長文

申請實體審查：無 申請專利範圍項數：25 項 圖式數：6 共 38 頁

(54)名稱

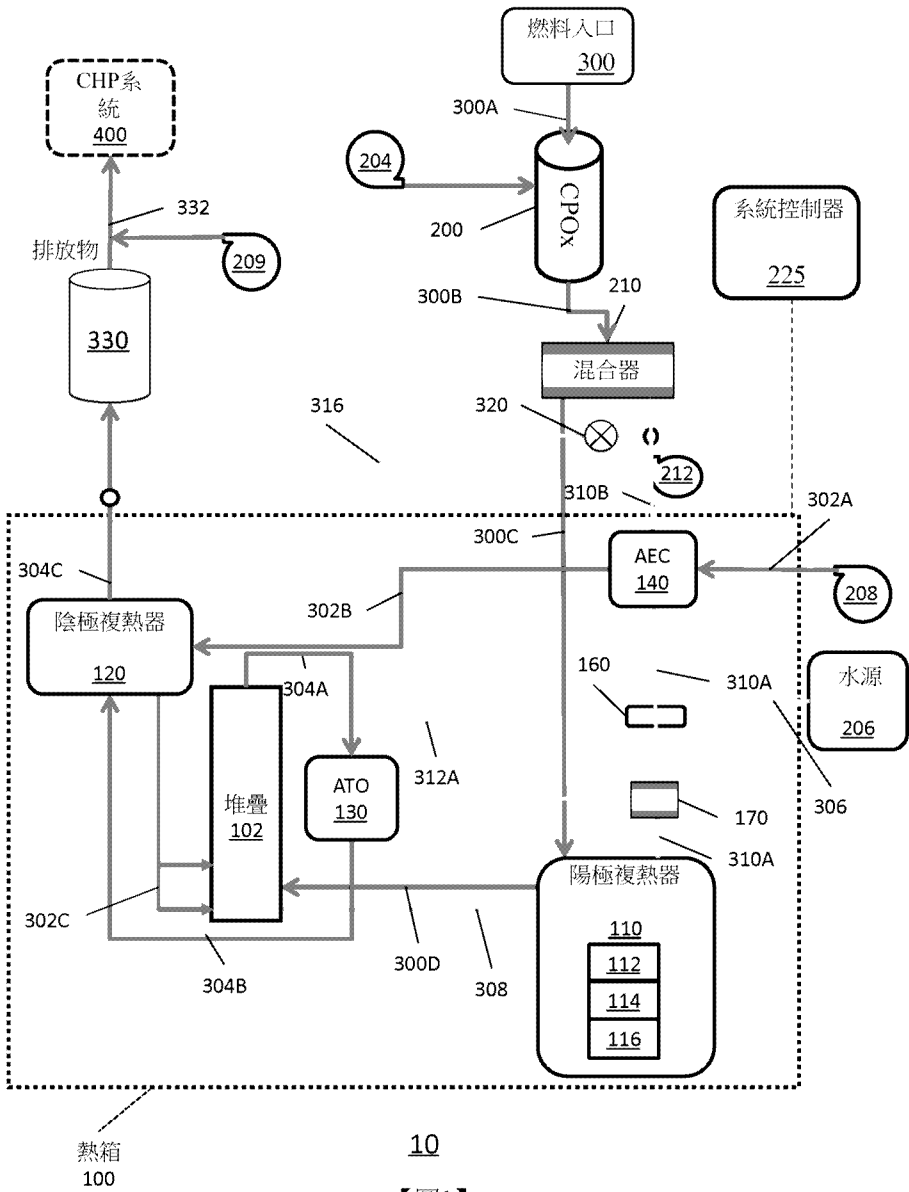
包括陽極排放物轉向之燃料電池系統及操作其之方法

(57)摘要

本發明係關於一種操作燃料電池系統之方法，其包括將燃料及空氣提供至位於熱箱中之燃料電池堆疊；操作該堆疊以產生陽極排放物及陰極排放物；在起動模式下，將第一量之該陽極排放物及該陰極排放物提供至位於該熱箱中之陽極尾氣氧化器(ATO)以氧化該陽極排放物且產生提供至該堆疊之熱；以及在穩態模式下，停止將該陽極排放物提供至該 ATO 或將小於該第一量的第二量之該陽極排放物提供至該 ATO，且在該熱箱之外部提供該陽極排放物及該陰極排放物。

A method of operating a fuel cell system includes providing fuel and air to a stack of fuel cells located in a hotbox, operating the stack to generate an anode exhaust and a cathode exhaust, in a startup mode, providing a first amount of the anode exhaust and the cathode exhaust to an anode tail gas oxidizer (ATO) located in the hotbox to oxidize the anode exhaust and to generate heat which is provided to the stack, and in a steady-state mode, stopping providing the anode exhaust to the ATO or providing to the ATO a second amount of the anode exhaust which is smaller than the first amount, and providing the anode exhaust and the cathode exhaust outside the hotbox.

指定代表圖：



【圖1】

- 符號簡單說明：
- 10:SOFC 系統/系統/燃料電池系統
 - 100:熱箱
 - 102:燃料電池堆疊/堆疊
 - 110:陽極複熱器熱交換器/陽極複熱器
 - 112:燃料重組催化劑
 - 114:燃料重組催化劑
 - 116:燃料重組催化劑
 - 120:陰極複熱器熱交換器/陰極複熱器
 - 130:陽極尾氣氧化器/ATO
 - 140:陽極排放物冷卻器熱交換器/陽極排放物冷卻器
 - 160:水噴射器
 - 170:分流器
 - 200:催化部分氧化反應器/CPOx 反應器
 - 204:CPOx 風機
 - 206:水源
 - 208:系統風機
 - 209:機櫃空氣風機
 - 210:混合器
 - 212:陽極再循環風機
 - 225:系統控制器/控制器
 - 300:燃料入口
 - 300A:燃料管道
 - 300B:燃料管道
 - 300C:燃料管道
 - 300D:燃料管道
 - 302A:空氣管道
 - 302B:空氣管道
 - 302C:空氣管道

304A:陰極排放物管道

304B:陰極排放物管道

304C:陰極排放物管道

306:水管道

308:陽極排放物管道

310A:第一再循環管
道/管道

310B:第二再循環管
道/管道

312A:ATO 管道/管道

316:旁通管道

320:旁通閥/閥

330:排放物氧化器

332:系統排放物管道/
管道

400:熱電共生系統/
CHP 系統

【發明摘要】

【中文發明名稱】

包括陽極排放物轉向之燃料電池系統及操作其之方法

【英文發明名稱】

FUEL CELL SYSTEM INCLUDING ANODE EXHAUST
DIVERSION AND METHOD OF OPERATING THE SAME

【中文】

本發明係關於一種操作燃料電池系統之方法，其包括將燃料及空氣提供至位於熱箱中之燃料電池堆疊；操作該堆疊以產生陽極排放物及陰極排放物；在起動模式下，將第一量之該陽極排放物及該陰極排放物提供至位於該熱箱中之陽極尾氣氧化器(ATO)以氧化該陽極排放物且產生提供至該堆疊之熱；以及在穩態模式下，停止將該陽極排放物提供至該ATO或將小於該第一量的第二量之該陽極排放物提供至該ATO，且在該熱箱之外部提供該陽極排放物及該陰極排放物。

【英文】

A method of operating a fuel cell system includes providing fuel and air to a stack of fuel cells located in a hotbox, operating the stack to generate an anode exhaust and a cathode exhaust, in a startup mode, providing a first amount of the anode exhaust and the cathode exhaust to an anode tail gas oxidizer (ATO) located in the hotbox to oxidize the anode exhaust and to generate heat which is provided to the stack, and in a steady-state mode, stopping providing the anode exhaust to the ATO or providing to the ATO a second amount of the anode exhaust which is

smaller than the first amount, and providing the anode exhaust and the cathode exhaust outside the hotbox.

【指定代表圖】

圖1

【代表圖之符號簡單說明】

10:SOFC系統/系統/燃料電池系統

100:熱箱

102:燃料電池堆疊/堆疊

110:陽極複熱器熱交換器/陽極複熱器

112:燃料重組催化劑

114:燃料重組催化劑

116:燃料重組催化劑

120:陰極複熱器熱交換器/陰極複熱器

130:陽極尾氣氧化器/ATO

140:陽極排放物冷卻器熱交換器/陽極排放物冷卻器

160:水噴射器

170:分流器

200:催化部分氧化反應器/CPO_x反應器

204:CPO_x風機

206:水源

208:系統風機

209:機櫃空氣風機

210:混合器

212:陽極再循環風機
225:系統控制器/控制器
300:燃料入口
300A:燃料管道
300B:燃料管道
300C:燃料管道
300D:燃料管道
302A:空氣管道
302B:空氣管道
302C:空氣管道
304A:陰極排放物管道
304B:陰極排放物管道
304C:陰極排放物管道
306:水管道
308:陽極排放物管道
310A:第一再循環管道/管道
310B:第二再循環管道/管道
312A:ATO管道/管道
316:旁通管道
320:旁通閥/閥
330:排放物氧化器
332:系統排放物管道/管道
400:熱電共生系統/CHP系統

【發明說明書】

【中文發明名稱】

包括陽極排放物轉向之燃料電池系統及操作其之方法

【英文發明名稱】

FUEL CELL SYSTEM INCLUDING ANODE EXHAUST
DIVERSION AND METHOD OF OPERATING THE SAME

【技術領域】

【0001】 本發明之各態樣係關於燃料電池系統及方法，且更特別地，關於包括陽極排放物轉向組件之燃料電池系統。

【先前技術】

【0002】 諸如固態氧化物燃料電池等燃料電池係可將儲存在燃料中之能量高效地轉換為電能之電化學裝置。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氣及/或烴類燃料操作。存在各種燃料電池，諸如固態氧化物再生型燃料電池，其亦允許反轉操作，使得氧化燃料可使用電能作為輸入還原成未氧化燃料。

【發明內容】

【0003】 根據各種實施例，燃料電池系統包括燃料電池堆疊、經組態以氧化自堆疊輸出之陽極排放物的陽極尾氣氧化器(ATO)、經組態以自燃料電池系統輸出陽極排放物之排放物管道、經組態以將自堆疊輸出之陽極排放物轉向至排放物管道之旁通管道、經組態以控制通過旁通管道之陽極排放物流的旁通閥以及經組態以將陽極排放物提供至ATO之ATO管道。

【0004】 根據各種實施例，操作燃料電池系統之方法包括將燃料及

空氣提供至位於熱箱中之燃料電池堆疊；操作堆疊以產生陽極排放物及陰極排放物；在起動模式下，將第一量之陽極排放物及陰極排放物提供至位於熱箱中之陽極尾氣氧化器(ATO)以氧化陽極排放物且產生提供至堆疊之熱；以及在穩態模式下，停止將陽極排放物提供至ATO或將小於第一量的第二量之陽極排放物提供至ATO，且在熱箱之外部提供陽極排放物及陰極排放物。

【0005】 根據各種實施例，操作燃料電池系統之方法包括將燃料及空氣提供至位於熱箱中之燃料電池堆疊；操作堆疊以產生陽極排放物及陰極排放物；在自堆疊汲取之電流不足以維持預定穩態堆疊操作溫度之低電流汲取穩態模式下，將第一量之陽極排放物及陰極排放物提供至位於熱箱中之陽極尾氣氧化器(ATO)以氧化陽極排放物且產生提供至堆疊之熱；以及在自堆疊汲取之電流足以維持預定穩態堆疊操作溫度之常規穩態模式下，停止將陽極排放物提供至ATO或將小於第一量的第二量之陽極排放物提供至ATO，且在熱箱之外部提供陽極排放物及陰極排放物。

【圖式簡單說明】

【0006】 併入本文中且構成本說明書之一部分的附圖連同上文給出之總體描述及下文給出之詳細描述一起說明了本發明之示例實施例。

【0007】 圖1係根據本發明之第一實施例之固態氧化物燃料電池(SOFC)系統的示意圖。

【0008】 圖2係根據本發明之第二實施例之SOFC系統的示意圖。

【0009】 圖3係根據本發明之第三實施例之SOFC系統的示意圖。

【0010】 圖4係可包括於圖1、圖2及/或圖3之SOFC系統中的中心柱101之一部分的橫截面圖。

【0011】 圖5係根據本發明之各種實施例的連接至燃料電池系統之熱電共生(CHP)系統的示意圖。

【0012】 圖6係繪示根據本發明之各種實施例的使用SOFC系統之方法的流程圖。

【實施方式】

【0013】 將參考附圖詳細描述各種實施例。在可能的情況下，將在整個圖式中使用相同之附圖標記來指代相同或相似部分。對特定實例及實施方案作出之參考係出於說明性目的，且不意欲限制本發明或申請專利範圍之範疇。

【0014】 在固態氧化物燃料電池(SOFC)系統中，燃料入口流可增濕以促進燃料重組反應，諸如蒸汽重組及水煤氣轉化反應。另外，在系統起動、關機及電網中斷事件期間，可將水添加至燃料入口流中以防止諸如催化劑之系統組分的焦化。習知地，此類增濕藉由在含有波紋管之蒸汽產生器中使水汽化來進行。水流動通過波紋管且由圍繞管外流動之陰極複熱器熱交換器排放物流加熱。然而，利用相對低溫度之陰極複熱器排放物流一般需要相當長之波紋管，以便吸收足夠熱以使水汽化。此外，蒸汽產生器相對較大且笨重，此亦增加了系統大小、複雜性及製造成本。

【0015】 相比之下，本發明之實施例提供經組態以將水直接噴射至陽極排放物再循環流中之水噴射器，其提供熱以將水汽化成蒸汽及/或將水霧化成小至足以夾帶在陽極排放物流中之小液滴。陽極排放物再循環流再循環至提供至燃料電池堆疊中之燃料入口流中，使得增濕燃料經提供至燃料電池堆疊之燃料電池。因此，可省略先前技術蒸汽產生器以減小系統大小、複雜性及成本。另外，實施例系統可使用相對短的非波紋水管道操

作，此可改良系統回應時間且減小系統大小及成本。

【0016】圖1係根據本發明之第一實施例之SOFC系統10的示意性表示。參看圖1，系統10包括熱箱100及安置於其中或鄰近於其之各個組件。熱箱100可含有至少一個燃料電池堆疊102，諸如含有交替之燃料電池及互連件之固態氧化物燃料電池堆疊。該堆疊之一個固態氧化物燃料電池含有陶瓷電解質，諸如氧化釔穩定之氧化鋯(YSZ)、氧化釔穩定之氧化鋯(SSZ)、氧化釔及二氧化鈾穩定之氧化鋯或氧化釔、氧化釔及二氧化鈾穩定之氧化鋯；陽極電極，諸如鎳-YSZ、鎳-SSZ或鎳摻雜之二氧化鈾金屬陶瓷；以及陰極電極，諸如亞錳酸鋇(LSM)。互連件可為金屬合金互連件，諸如鉻-鐵合金互連件。堆疊102可呈複數個列彼此堆放配置。

【0017】熱箱100亦可含有陽極複熱器熱交換器110、陰極複熱器熱交換器120、陽極尾氣氧化器(ATO) 130、陽極排放物冷卻器熱交換器140、視情況選用之分流器170及水噴射器160。系統10亦可包括催化部分氧化(CPO_x)反應器200、混合器210、CPO_x風機204 (例如，空氣風機)、系統風機208 (例如，空氣風機)及陽極再循環風機212，以上可以安置於熱箱100之外部。然而，本發明不限於各組件相對於熱箱100之任何特定位置。

【0018】CPO_x反應器200經由燃料管道300A自燃料入口300接收燃料入口流。燃料入口300可為包括用於控制提供至CPO_x反應器200之燃料之量之閥的燃料箱或公用天然氣管線。CPO_x風機204可在系統起動期間將空氣提供至CPO_x反應器202。燃料及/或空氣可經由燃料管道300B提供至混合器210。燃料經由燃料管道300C自混合器210流至陽極複熱器110。在陽極複熱器110中藉由燃料排放物對燃料進行加熱，且接著燃料經由燃

料管道300D自陽極複熱器110流至堆疊102。

【0019】系統風機208可經組態以經由空氣管道302A將空氣流(例如，空氣入口流)提供至陽極排放物冷卻器140。空氣經由空氣管道302B自陽極排放物冷卻器140流至陰極複熱器120。在陰極複熱器120中藉由ATO排放物對空氣進行加熱。空氣經由空氣管道302C自陰極複熱器120流至堆疊102。

【0020】經由陽極排放物管道308將在堆疊102中產生之陽極排放物(例如，燃料排放物流)提供至陽極複熱器110。陽極排放物可含有未反應之燃料且在本文中亦可被稱作燃料排放物。陽極排放物可藉由再循環管道310自陽極複熱器110提供至混合器210，該再循環管道可包括第一再循環管道310A及第二再循環管道310B。特別地，第一再循環管道310A可將陽極複熱器110之出口以流體方式連接至陽極排放物冷卻器140之入口。第二再循環管道310B可將陽極排放物冷卻器140之出口以流體方式連接至混合器210之入口。

【0021】水經由水管道306自諸如水箱或水管等水源206流至水噴射器160。水噴射器160可經組態以將水噴射至流動通過第一再循環管道310A之陽極排放物中。來自陽極排放物(亦被稱為再循環陽極排放物流)之熱使水汽化以產生增濕陽極排放物之蒸汽。將增濕陽極排放物提供至陽極排放物冷卻器140。來自提供至陽極排放物冷卻器140之陽極排放物的熱可傳遞至自系統風機208提供至陰極複熱器120之空氣入口流。冷卻之增濕陽極排放物接著可經由第二再循環管道310B自陽極排放物冷卻器140提供至混合器210。陽極再循環風機212可經組態以移動陽極排放物通過第二再循環管道310B。

【0022】混合器210經組態以將增濕陽極排放物與新鮮燃料(亦即，燃料入口流)混合。接著，可將此增濕燃料混合物在陽極複熱器110中藉由陽極排放物加熱，隨後提供至堆疊102。系統10亦可包括位於陽極複熱器110之內部及/或下游之一或多種燃料重組催化劑112、114及116。在將增濕燃料混合物提供至堆疊102之前，(多種)重組催化劑對該增濕燃料混合物進行重組。

【0023】分流器170可以操作方式連接至第一再循環管道310A，且可經組態以經由ATO管道312A將陽極排放物之一部分轉向至ATO 130。ATO管道312A可以流體方式連接至陰極排放物管道304A或ATO 130。

【0024】堆疊102中產生之陰極排放物藉由陰極排放物管道304A提供至ATO 130。陰極排放物可在提供至ATO 130之前或之後與陽極排放物混合。陽極排放物與陰極排放物之混合物可在ATO 130中氧化以產生ATO排放物。ATO排放物經由陰極排放物管道304B自ATO 130流至陰極複熱器120。排放物經由陰極排放物管道304C自陰極複熱器120流動且流出熱箱100。

【0025】系統10可進一步包括經組態以控制系統10之各種元件的系統控制器225。控制器225可包括經組態以執行所儲存指令之中央處理單元。舉例而言，控制器225可經組態以根據燃料組成資料控制通過系統10之燃料及/或空氣流。

【0026】諸位發明人已確定，在將足夠的電力負載施加至燃料電池堆疊時之穩態操作期間，可能不需要ATO產熱來維持所需SOFC堆疊102穩定階段操作溫度(例如，高於700℃之溫度，諸如750℃至900℃)。然而，在習知系統中，ATO仍可在穩態模式期間操作以便氧化向其提供之陽

極排放物中存在的一氧化碳。然而，此氧化可引起大量熱釋放，此對於穩態操作可能並非必需的。

【0027】 習知地，由系統風機208提供之系統空氣流(亦即，空氣入口流)之流速可增加以便補償此類ATO熱釋放。然而，隨著空氣流速增加，堆疊中之燃料電池的溫度範圍亦可增加。舉例而言，較高空氣流速可導致某些燃料電池在低於最佳溫度之溫度下操作，此可能減少總電力生產。另外，較高空氣流速亦可導致沿空氣流動路徑之較高壓降。較高空氣流速及較高壓降兩者可導致較高總體系統電廠輔助設施功耗及較低總體系統效率。

【0028】 鑒於習知系統之以上及/或其他問題，在本發明之一些實施例中，至少在系統之穩態操作期間，陽極排放物可與離開熱箱100之陰極排放物混合，或與替代之新鮮空氣流混合，而非提供至ATO。在一些實施例中，利用催化劑來支持保留在陽極排放物中之一氧化碳、烴類燃料及/或氫氣的氧化。在排他地使用氫燃料之替代實施例系統中，必要時，陽極排放物可直接自熱箱100排放。對於熱電共生(CHP)組態，接著可將陽極排放物排放至CHP熱交換器上游之陰極排放物管道中，以產生熱用於在CHP熱交換器中回收。

【0029】 再次參看圖1，SOFC系統10可包括旁通管道316、旁通閥320及排放物氧化器330。旁通管道316將第二再循環管道310B以流體方式連接至陰極排放物管道304C。在一些實施例中，相對於通過第二再循環管道310B之陽極排放物流方向，旁通管道316可在陽極再循環風機212之下游連接至第二再循環管道310B，以便將額外排放物流壓力提供至陰極排放物管道304C。然而，在其他實施例中，旁通管道316可在陽極再循環

風機212之上游以流體方式連接至第二再循環管道310B。

【0030】 排放物氧化器330可經組態以氧化自ATO 130輸出之ATO排放物及/或自旁通管道316輸出之陽極排放物。舉例而言，排放物氧化器330可包含含有分別促進一氧化碳及/或氫氣氧化成二氧化碳及/或水之催化劑的管或管道。在一個實施例中，排放物氧化器330位於熱箱100外部。因此，由排放物氧化器330產生之熱不用於加熱SOFC堆疊102。

【0031】 ATO管道312A將自分流器170輸出之陽極排放物(例如，ATO燃料流)提供至ATO 130。來自分流器170通過ATO管道312A之陽極排放物流可藉由控制陽極再循環風機212之速度來控制。舉例而言，較高陽極再循環風機212速度可產生流向ATO 130之較低陽極排放物流，而較低陽極再循環風機212速度可產生流向ATO 130之較高陽極排放物流。在一些實施例中，陽極再循環風機212之速度可受限，以便防止陰極排放物經由ATO管道312A回流且進入分流器170。

【0032】 旁通閥320可位於熱箱100之外部，以便防止由於暴露於熱箱100內部之高溫而對旁通閥320造成損害。旁通閥320可經組態以控制自陽極排放物管道310通過旁通管道316之陽極排放物流。特別地，在系統10起動期間，旁通閥320可關閉，使得陽極排放物不提供至排放物氧化器330及陰極排放物管道304C，且陽極再循環風機212可以不將所有陽極排放物拉出熱箱100之速度操作，使得ATO燃料流提供至ATO 130。因此，ATO 130在系統10之起動模式期間操作以使用陰極排放物氧化陽極排放物，且產生熱。ATO熱用於在起動模式期間在堆疊102達至其穩態操作溫度(例如，高於700°C之溫度，諸如750°C至900°C)之前提高堆疊102之溫度。

【0033】 相比之下，在堆疊102達至其穩態操作溫度(例如，高於700°C之溫度，諸如750°C至900°C)之後的穩態操作期間，旁通閥320可打開，使得至少一部分陽極排放物經由旁通管道316提供至陰極排放物管道304C及排放物氧化器330，且陽極再循環風機212速度/流速可增加，以使經由管道312A提供至ATO 130之陽極排放物之量減至最小，同時防止陰極排放物回流。

【0034】 因此，若自堆疊102汲取足夠之電流(亦即，若堆疊輸出之電功率高於特定於堆疊102之臨限值)，則堆疊102在穩態模式期間產生足以維持所需穩態操作溫度之熱，且堆疊102不需要ATO熱。在一些實施例中，在起動模式期間及/或在自堆疊102汲取之電流不足以維持所需穩態操作溫度時的低電流汲取穩態模式期間，將陽極排放物提供至ATO 130。

【0035】 舉例而言，若系統控制器225偵測到自堆疊102汲取之電流低於維持所需穩態操作溫度(亦即，高於臨限溫度值(例如，高於700°C之溫度，諸如750°C至900°C)之堆疊操作溫度值)的預定臨限電流值，則將一部分陽極排放物提供至ATO 130以在ATO 130中產生熱。將ATO熱提供至堆疊102以維持堆疊高於臨限溫度值。臨限電流值取決於堆疊大小、燃料電池組成、提供至堆疊之燃料組成、堆疊劣化之累積水平等。在一個實施例中，臨限電流值可包含10至30安培，諸如20至25安培。在低電流汲取穩態模式期間，陽極排放物可或可不提供至排放物氧化器330。

【0036】 一旦系統控制器225偵測到在堆疊102上汲取之足夠電流等於或高於維持堆疊高於臨限溫度值所需之臨限電流值，則系統10退出低電流汲取穩態模式且進入常規穩態模式。在常規穩態模式下，通過陽極再循環風機212之陽極排放物之流速增加，且將最少量之陽極排放物提供至

ATO 130。舉例而言，在常規穩態模式期間，陽極再循環風機212可以相對高速度操作，使得大部分陽極排放物自熱箱100拉出且提供至排放物氧化器330，且沒有陽極排放物或僅少數(例如，小於20體積百分比，諸如1至10體積百分比)陽極排放物提供至ATO 130。

【0037】 在一個實施例中，旁通閥320可為經組態以控制通過旁通管道316之陽極排放物流速的比例閥。在一些實施例中，系統控制器225可經組態以在自起動至穩態操作之過渡期間及/或在穩態操作期間，逐漸打開旁通閥320且逐漸增加陽極再循環風機212之速度。另外，系統控制器225可經組態以逐漸減小系統風機208之速度，以便補償ATO 130之熱輸出的減少。

【0038】 排放物氧化器330可安置於熱箱100之外部，使得由氧化反應產生之熱由此不會不必要地加熱系統組件。因此，總系統氣流可減少。特別地，與在穩態操作期間將陽極排放物提供至ATO 130之情況相比，系統空氣風機208可以較低速度操作。換言之，系統風機208之穩態功耗可顯著降低。另外，可減少電池間溫度變化，此可提高電池電壓及效率。

【0039】 在一些實施例中，系統10可視情況包括經組態以將機櫃空氣提供至陰極排放物管道304C或系統排放物管道332之機櫃空氣風機209。特別地，系統10可安置於機櫃中，且在需要冷卻器系統排放物之實施例中，機櫃空氣風機209可經組態以提供機櫃空氣以冷卻自系統10輸出之排放物。

【0040】 在各種其他實施例中，系統10可包括系統排放物管道332，其經組態以將自排放物氧化器330輸出之排放物提供至熱電共生(CHP)系統400，如下文關於圖5所論述。在圖1中所示之一個實施例中，

額外空氣可由機櫃空氣風機209提供至陰極排放物管道304C，以便降低排放物溫度。

【0041】 在一些實施例中，可在起動及穩態操作模式期間將一些陽極排放物提供至ATO 130。在圖2及圖3中所示之其他實施例中，可省略分流器170及ATO管道312A。在此等實施例中，在任何操作模式期間，沒有陽極排放物直接自熱箱100內提供至ATO 130。

【0042】 圖2係根據本發明之第二實施例之SOFC系統12的示意性表示。SOFC系統12類似於圖1之SOFC系統10。因此，將僅詳細地論述其間之差異。

【0043】 參看圖2，SOFC系統12可包括旁通管道316A、ATO管道312B及ATO閥324。旁通管道316A可在陽極再循環風機212之上游將第二再循環管道310B以流體方式連接至陰極排放物管道304C。然而，在其他實施例中，若需要較高陽極排放物流速，則旁通管道316A可在陽極再循環風機212之下游連接至第二再循環管道310B。ATO管道312B可將旁通管道316以流體方式連接至ATO 130。

【0044】 旁通閥320可經組態以控制通過旁通管道316A之陽極排放物流，且ATO閥324可經組態以控制通過ATO管道312B至ATO 130之陽極排放物(例如，ATO燃料流)流。在一些實施例中，閥320及324可為經組態以提供通過其各別管道316A及312B之各種流速的比例閥。特別地，在系統起動期間，旁通閥320可由系統控制器225關閉且ATO閥324可由該系統控制器打開，使得陽極排放物提供至ATO 130且沒有陽極排放物提供至陰極排放物管道304C及排放物氧化器330。

【0045】 在穩態操作期間，旁通閥320可由系統控制器225打開且

ATO閥324可由該系統控制器關閉，使得第二再循環管道310B中之一些陽極排放物轉向至陰極排放物管道304C中且提供至排放物氧化器330，且陽極排放物不經由ATO管道312B提供至ATO 130。

【0046】 在一些實施例中，系統控制器225可經組態以在自起動至穩態操作之過渡期間及/或在穩態操作期間，逐漸打開旁通閥320且逐漸關閉ATO閥324。另外，系統控制器225可經組態以逐漸減小系統風機208之速度，以便補償隨著ATO燃料流減少及/或在ATO燃料流停止之後ATO 130之熱輸出的減少。

【0047】 圖3係根據本發明之第三實施例之SOFC系統14的示意性表示。SOFC系統14類似於圖2之SOFC系統12。因此，將僅詳細地論述其間之差異。

【0048】 參看圖3，SOFC系統14可包括將第一再循環管道310A以流體方式連接至陰極排放物管道304C之旁通管道316B。換言之，旁通管道316B可經組態以將自陽極複熱器110流至陽極排放物冷卻器140之陽極排放物轉向至陰極排放物管道304C，使得一部分陽極排放物可在陽極排放物冷卻器140之上游轉向至排放物氧化器330。視情況選用之ATO管道312B將旁通管道316B以流體方式連接至ATO 130。

【0049】 旁通閥320可經組態以控制通過旁通管道316B之陽極排放物流，且ATO閥324可經組態以控制通過ATO管道312B至ATO 130之陽極排放物流。特別地，在系統起動期間，旁通閥320可由系統控制器225關閉且ATO閥324可由該系統控制器打開，使得陽極排放物提供至ATO 130且陽極排放物不提供至陰極排放物管道304C及排放物氧化器330。在穩態操作期間，旁通閥320可由系統控制器225打開且ATO閥324可由該系統控

制器關閉，使得陽極排放物提供至排放物氧化器330且陽極排放物不提供至ATO 130。

【0050】 在一些實施例中，系統控制器225可經組態以在自啟動至穩態操作之過渡期間及/或在穩態操作期間，逐漸打開旁通閥320且逐漸關閉ATO閥324。另外，系統控制器225可經組態以逐漸減小系統風機208之速度，以便補償隨著ATO燃料流減少及/或在ATO燃料流停止之後ATO 130之熱輸出的減少。

【0051】 圖4係可包括於SOFC系統10、12及/或14中之中心柱101之一部分的橫截面圖。參看圖1至圖4，中心柱101可包括陽極複熱器110、ATO 130及陽極排放物冷卻器140。陽極複熱器110位於中心柱101之核心中。ATO 130可包含環形歧管，其含有圍繞陽極複熱器110之ATO催化劑。陽極排放物冷卻器140可位於陽極複熱器110及ATO 130上方。燃料電池堆疊102可圍繞ATO 130，且陰極複熱器120可圍繞燃料電池堆疊102。

【0052】 可為上文所描述之ATO管道312A、312B、312C中之任一者的ATO管道312可分成兩個或更多個柱管道(例如，歧管之兩個至六個管) 314，其自中心柱101之頂部延伸至ATO噴射器172。ATO噴射器172可包含環形空間，其具有連接至柱管道314之出口的內部徑向側壁174及突出至ATO 130之頂部的外側壁176。在一個實施例中，外側壁176可具有彎曲豎直輪廓，其中中間區段自錐形頂部及底部區段徑向朝外突出。外側壁176含有一或多個開口178，諸如位於中間區段中之狹縫。開口178將ATO噴射器172之內部空間以流體方式連接至ATO 130之內部空間。特別地，柱管道314可經組態以經由ATO噴射器172中之開口178將多個陽極排

放物流自ATO管道312提供至ATO 130，如圖4中之虛線箭頭所示。陽極排放物流在ATO噴射器中徑向分離成多個陽極排放物流改良了ATO 130中陽極排放物之徑向流動及混合。

【0053】 再次參看圖1至圖3，根據第一至第三實施例，若SOFC系統10、12、14使用氫氣作為燃料源操作，則可自該等系統省略排放物氧化器330。在圖1中所示之一個實施例中，若省略排放物氧化器330，則可由機櫃空氣風機209將額外空氣提供至陰極排放物管道304C以便降低排放物溫度。

【0054】 在各種實施例中，排放物氧化器330可包括如2021年7月12日申請之美國臨時申請案第63/220,659號中所描述之氧化催化劑，且該申請案以全文引用之方式併入本文中。舉例而言，氧化催化劑可包括D區金屬，諸如金(Au)及/或一或多種鉑族金屬，諸如鉑(Pt)、鈀(Pd)、銠(Rh)、銱(Ir)、銱(Os)、鈳(Ru)或其組合。在一些實施例中，Au、Pt、Pd及Rh可展現最高催化活性。在一些實施例中，氧化催化劑可包括用另一金屬，諸如錳(Mn)、鐵(Fe)、鈷(Co)、鎳(Ni)及/或銅(Cu)穩定之Au及/或鉑族金屬。

【0055】 在各種實施例中，陽極排放物可由自陽極複熱器110流至陽極排放物冷卻器140之陽極排放物流轉向，或由自陽極排放物冷卻器140輸出之陽極排放物流轉向，且提供至安置於熱箱100之外部的排放物氧化器330。流向ATO 130之陽極排放物流可在穩態操作期間減少及/或切斷以減少ATO 130產熱，且系統空氣流可相應地減少。因而，可提高總體系統溫度均一性及效能。

【0056】 在一些實施例中，SOFC系統10、12、14可在低電流負載

條件下或回應於電流負載條件中之暫態而操作(例如，在穩態模式下)，使得可能需要額外熱以維持堆疊操作溫度。在此類條件下，陽極排放物可週期性地供應至ATO 130以週期性地提高熱箱100中之溫度。舉例而言，陽極排放物可以基於維持堆疊操作溫度所需之額外加熱之量的時程供應至ATO，諸如每分鐘5-20秒、每十分鐘30秒至三分鐘、每小時五至十五分鐘等。在此等實施例中，在穩態模式期間閥320可週期性地關閉及/或閥324 (若存在)可週期性地打開以將一部分陽極排放物提供至ATO 130。在陽極排放物已經由管道312A或312B提供至ATO之後，閥320可打開及/或閥324 (若存在)可關閉。打開及關閉閥320及/或324的此等步驟可週期性地重複。或者或另外，陽極再循環風機212之速度/流速可週期性地改變以控制提供至ATO 130之陽極排放物之量。舉例而言，可在第一時間段內減小速度以提供或增加提供至ATO 130之陽極排放物之量。接著可在第二時間段內增加速度以停止或減少流向ATO 130之陽極排放物之量。以上步驟可回應於低輸出電流或電流暫態週期性地重複。低輸出電流或電流暫態可藉由量測由堆疊輸出之電流及/或藉由使用熱電偶或另一適合的溫度感測器量測堆疊之溫度來偵測。

【0057】 圖5係根據本發明之各種實施例之CHP系統400的示意圖。參看圖5，CHP系統400可包括熱交換器410、鍋爐420、蒸汽渦輪422及發電機424。鍋爐420提供蒸汽以操作渦輪422，且渦輪422使發電機424旋轉以產生電力。

【0058】 熱交換器410可經組態以自水入口管道412接收水，且如上文所描述，經由SOFC系統10、12或14之管道332接收自排放物氧化器330輸出之熱排放物流。特別地，熱交換器410可經組態以自排放物流提取

熱，以便加熱自水入口管道412提供之水以產生蒸汽及/或熱水。熱水(或熱水與蒸汽之混合物)可提供至鍋爐420。或者，完全汽化(且可能過熱)之蒸汽流可提供至渦輪422。熱排放物流在熱交換器410中冷卻且經由出口管道414自熱交換器410排出。因此，對於自發電機424輸出之給定量功率，熱交換器410可藉由利用自SOFC系統輸出之熱來減少鍋爐420之燃料消耗。

【0059】 可將額外水及燃料提供至鍋爐420以使鍋爐中之水沸騰且將蒸汽自鍋爐420提供至蒸汽渦輪422。蒸汽及/或熱水可自蒸汽渦輪422提供至結構432 (例如，建築物或設施，諸如工廠)之冷卻或加熱系統430。由發電機424產生之電力提供至結構432及/或電網434。在一些實施例中，蒸汽過熱器421可在鍋爐420與蒸汽渦輪422之間以流體方式連接。蒸汽過熱器421可經組態以藉由自由燃燒鍋爐燃料產生之燃燒排放物提取熱而使自鍋爐420輸出之蒸汽過熱。

【0060】 圖6係繪示根據本發明之各種實施例的操作燃料電池系統之方法之步驟的流程圖。關於通用SOFC系統描述該方法，該系統可包括如關於本文所揭示之燃料電池系統10、12、14中之任一者所描述的組件。

【0061】 參看圖1至圖6，在步驟502中，SOFC系統以起動模式操作。特別地，燃料可自燃料入口300提供至堆疊102，空氣可由系統空氣風機208提供至堆疊。另外，由堆疊102產生之陽極及陰極排放物可提供至ATO 130用於氧化，此可提供熱以提高堆疊102之溫度。

【0062】 舉例而言，陽極再循環風機212之速度可減小及/或ATO閥324可打開以經由各別ATO管道312A或312B將陽極排放物提供至ATO

130。另外，旁通閥320可關閉，使得陽極排放物不流動通過旁通管道316。在一些實施例中，在起動模式期間CPO_x反應器200可操作以部分地重組燃料。

【0063】 一旦堆疊102達至設定之穩態操作溫度，則SOFC系統可過渡至穩態模式。特別地，在步驟504中，可停止或減少流向ATO 130之陽極排放物流。舉例而言，陽極再循環風機212之速度可增加及/或ATO閥324可關閉以停止經由各別ATO管道312A或312B流向ATO 130之陽極排放物流。

【0064】 在步驟506中，由堆疊102產生之陽極排放物的一部分可轉向至排放物氧化器330，其中陽極排放物與陰極排放物之混合物反應以氧化一氧化碳及/或氫氣。舉例而言，旁通閥320可打開以將一部分陽極排放物轉向至排放物氧化器330。舉例而言，陽極排放物可自陽極排放物冷卻器140之上游或下游的管道310A或310B轉向。

【0065】 陽極排放物可藉由關閉ATO閥324而轉向至排放物氧化器330，且由堆疊102產生之陽極排放物的一部分可轉向至排放物氧化器330，以便氧化陰極排放物。舉例而言，旁通閥320可打開，使得一部分陽極排放物經由旁通管道316、316A或316B自管道310A或310B轉向至排放物氧化器330。在各種實施例中，在穩態操作期間陽極排放物至排放物氧化器330之流速可小於在起動操作期間至ATO 130之陽極排放物流速。

【0066】 在步驟508中，系統之空氣流速可基於SOFC系統之溫度變化視情況調整。舉例而言，可基於堆疊102之溫度調整系統空氣風機208之速度。特別地，若堆疊102之溫度由於ATO 130之熱輸出的減少而降低，則可相應地減小系統空氣風機208之空氣流速。

【0067】 在一些實施例中，在步驟510中，該方法可視情況包括將自排放物氧化器330輸出之排放物提供至熱電共生(CHP)系統400。舉例而言，可將排放物提供至熱交換器410以產生蒸汽及/或熱水。

【0068】 在一些實施例中，該方法可包括以低電流汲取穩態模式操作SOFC系統。舉例而言，若施加至堆疊之電流負載不足以維持預定穩態堆疊操作溫度，則步驟504可包括將陽極排放物週期性地提供至ATO 130以產生供應至堆疊102之熱，使得堆疊102之溫度可維持在所選擇的操作溫度範圍內。舉例而言，陽極排放物可週期性地提供至ATO，其中陽極排放物與陰極排放物混合，陰極排放物可連續提供至ATO 130。舉例而言，陽極排放物可根據時程提供，該時程可基於將堆疊102維持在特定操作溫度或溫度範圍所需的加熱。舉例而言，陽極排放物可在Y之時間段期間提供X分鐘，其中X可在約10秒至約五分鐘，諸如約30秒至約3分鐘之範圍內，且Y可在約5分鐘至約一小時，諸如約10分鐘至約30分鐘之範圍內。

【0069】 因此，在起動模式及/或自堆疊汲取之電流不足以維持預定穩態堆疊操作溫度的低電流汲取穩態模式下，將第一量(例如，第一體積或流速)之陽極排放物及陰極排放物提供至位於熱箱100中之ATO 130以氧化陽極排放物且產生提供至堆疊120之熱。相比之下，在自堆疊汲取之電流足以維持預定穩態堆疊操作溫度之常規穩態模式下，停止流向ATO之陽極排放物流，或將小於第一量的第二量(例如，第二體積或流速)之陽極排放物提供至ATO 130，同時將另一部分(亦即，量)之陽極排放物及陰極排放物提供至位於熱箱100之外部的排放物氧化器330。

【0070】 提供對所揭示態樣之前述描述以使得任何熟習此項技術者能夠製作或使用本發明。熟習此項技術者將顯而易見對此等態樣之各種修

改，且在不背離本發明之範疇的情況下，本文中所定義之一般原理可應用於其他態樣。因此，本發明不意欲限於本文中所示之態樣，而應符合與本文中所揭示之原理及新穎特徵一致的最廣泛範疇。

【符號說明】

【0071】

10:SOFC系統/系統/燃料電池系統

12:SOFC系統/燃料電池系統

14:SOFC系統/燃料電池系統

100:熱箱

101:中心柱

102:燃料電池堆疊/堆疊

110:陽極複熱器熱交換器/陽極複熱器

112:燃料重組催化劑

114:燃料重組催化劑

116:燃料重組催化劑

120:陰極複熱器熱交換器/陰極複熱器

130:陽極尾氣氧化器/ATO

140:陽極排放物冷卻器熱交換器/陽極排放物冷卻器

160:水噴射器

170:分流器

172:ATO噴射器

200:催化部分氧化反應器/CPO_x反應器

204:CPO_x風機

206:水源

208:系統風機

209:機櫃空氣風機

210:混合器

212:陽極再循環風機

225:系統控制器/控制器

300:燃料入口

300A:燃料管道

300B:燃料管道

300C:燃料管道

300D:燃料管道

302A:空氣管道

302B:空氣管道

302C:空氣管道

304A:陰極排放物管道

304B:陰極排放物管道

304C:陰極排放物管道

306:水管道

308:陽極排放物管道

310A:第一再循環管道/管道

310B:第二再循環管道/管道

312:ATO管道

312A:ATO管道/管道

312B:ATO管道/管道
314:柱管道
316:旁通管道
316A:旁通管道/管道
316B:旁通管道/管道
320:旁通閥/閥
324:ATO閥/閥
330:排放物氧化器
332:系統排放物管道/管道
400:熱電共生系統/CHP系統
410:熱交換器
412:水入口管道
414:出口管道
420:鍋爐
421:蒸汽過熱器
422:蒸汽渦輪/渦輪
424:發電機
430:冷卻或加熱系統
432:結構
434:電網
502:步驟
504:步驟
506:步驟

508:步驟

510:步驟

【發明申請專利範圍】

【請求項1】

一種燃料電池系統，其包含：

燃料電池堆疊；

陽極尾氣氧化器(ATO)，其經組態以氧化自該堆疊輸出之陽極排放物；

排放物管道，其經組態以自該燃料電池系統輸出該陽極排放物；

旁通管道，其經組態以將自該堆疊輸出之該陽極排放物轉向至該排放物管道；

旁通閥，其經組態以控制通過該旁通管道之陽極排放物流；以及

ATO管道，其經組態以將該陽極排放物提供至該ATO。

【請求項2】

如請求項1之燃料電池系統，其進一步包含：

陽極複熱器，其經組態以使用由該堆疊產生之陽極排放物來加熱提供至該堆疊之燃料；及

陽極排放物冷卻器，其經組態以使用自該陽極複熱器輸出之陽極排放物加熱來加熱提供至該堆疊之空氣，

其中該旁通管道經組態以將通過該陽極複熱器或通過該陽極複熱器及該陽極排放物冷卻器兩者的自該堆疊輸出之該陽極排放物轉向。

【請求項3】

如請求項2之燃料電池系統，其進一步包含：

容納該堆疊、該ATO、該陽極複熱器及該陽極排放物冷卻器之熱箱；及

排放物氧化器，其經組態以氧化該排放物管道中之該陽極排放物，其中該排放物氧化器安置於該熱箱之外部。

【請求項4】

如請求項2之燃料電池系統，其進一步包含：

ATO噴射器，其包含具有內部徑向側壁及外側壁之環形空間，該外側壁延伸至該ATO中，且含有一或多個將該ATO噴射器之內部空間以流體方式連接至該ATO之內部空間的開口；

至少一個柱管道，其將該ATO管道以流體方式連接至該ATO噴射器之該內部空間，且通過該燃料電池系統之中心柱延伸至該ATO噴射器；

混合器，其經組態以將該陽極排放物與新鮮燃料混合；

第一再循環管道，其將該陽極複熱器之出口以流體方式連接至該陽極排放物冷卻器之入口；

第二再循環管道，其將該陽極排放物冷卻器之出口以流體方式連接至該混合器；以及

陽極再循環風機，其以操作方式連接至該第二再循環管道。

【請求項5】

如請求項4之燃料電池系統，其中：

相對於通過該第二再循環管道之陽極排放物流方向，該旁通管道在該陽極再循環風機之上游以流體方式連接至該第二再循環管道；且

該ATO管道以流體方式連接至該旁通管道。

【請求項6】

如請求項4之燃料電池系統，其中相對於通過該第二再循環管道之陽極排放物流方向，該旁通管道在該陽極再循環風機之下游以流體方式連接

至該第二再循環管道。

【請求項7】

如請求項6之燃料電池系統，其進一步包含經組態以將流動通過該第一再循環管道之陽極排放物之一部分轉向的分流器，

其中該ATO管道將該分流器以流體方式連接至該ATO噴射器。

【請求項8】

如請求項4之燃料電池系統，其中：

該旁通管道以流體方式連接至該第一再循環管道；且

該ATO管道將該旁通管道以流體方式連接至該ATO噴射器。

【請求項9】

如請求項2之燃料電池系統，其進一步包含：

系統空氣風機，其經組態以經由該陽極排放物冷卻器將空氣提供至該堆疊；

ATO閥，其位於該熱箱之外部且經組態以控制通過該ATO管道之陽極排放物流；以及

系統控制器，其經組態以控制該旁通閥、該ATO閥及該系統空氣風機。

【請求項10】

如請求項9之燃料電池系統，其中該系統控制器經組態以：

在該燃料電池系統之起動模式期間打開該ATO閥且關閉該旁通閥；
且

在該燃料電池堆疊達至穩態操作溫度之後的該燃料電池系統之穩態模式期間關閉該ATO閥且打開該旁通閥。

【請求項11】

如請求項10之燃料電池系統，其中該系統控制器經組態以在該穩態模式期間逐漸減小該系統空氣風機之操作速度以將該堆疊維持在該穩態操作溫度下。

【請求項12】

如請求項3之燃料電池系統，其中該排放物管道將該排放物氧化器之出口以流體方式連接至熱電共生(CHP)系統。

【請求項13】

如請求項12之燃料電池系統，其中該CHP系統包含：

熱交換器，其經組態以使用自由該排放物管道提供之排放物提取的熱產生熱水或蒸汽；

鍋爐；

渦輪；以及

發電機。

【請求項14】

如請求項1之燃料電池系統，其中該堆疊包含固態氧化物燃料電池堆疊。

【請求項15】

一種操作燃料電池系統之方法，其包含：

將燃料及空氣提供至位於熱箱中之燃料電池堆疊；

操作該堆疊以產生陽極排放物及陰極排放物；

在起動模式下，將第一量之該陽極排放物及該陰極排放物提供至位於該熱箱中之陽極尾氣氧化器(ATO)以氧化該陽極排放物且產生提供至該

堆疊之熱；以及

在穩態模式下，停止將該陽極排放物提供至該ATO或將小於該第一量的第二量之該陽極排放物提供至該ATO，且在該熱箱之外部提供該陽極排放物及該陰極排放物。

【請求項16】

如請求項15之方法，其進一步包含在該穩態模式下減小提供至該堆疊之該空氣的流速以將該堆疊維持在預定穩態操作溫度下。

【請求項17】

如請求項15之方法，其進一步包含：

在位於該熱箱之外部的排放物氧化器中用該陰極排放物氧化該陽極排放物；及

在該穩態模式期間將來自該排放物氧化器之排放物提供至熱電共生(CHP)系統。

【請求項18】

如請求項15之方法，其進一步包含在自該堆疊汲取之電流不足以維持預定穩態堆疊操作溫度的低電流汲取穩態模式下，將該陽極排放物提供至該陽極尾氣氧化器(ATO)。

【請求項19】

如請求項15之方法，其中在該穩態模式下，不將該陽極排放物提供至該ATO。

【請求項20】

如請求項15之方法，其中在該穩態模式下，將該第二量之陽極排放物提供至該ATO。

【請求項21】

一種操作燃料電池系統之方法，其包含：

將燃料及空氣提供至位於熱箱中之燃料電池堆疊；

操作該堆疊以產生陽極排放物及陰極排放物；

在自該堆疊汲取之電流不足以維持預定穩態堆疊操作溫度的低電流汲取穩態模式下，將第一量之該陽極排放物及該陰極排放物提供至位於該熱箱中之陽極尾氣氧化器(ATO)以氧化該陽極排放物且產生提供至該堆疊之熱；以及

在自該堆疊汲取之電流足以維持該預定穩態堆疊操作溫度的常規穩態模式下，停止將該陽極排放物提供至該ATO或將小於該第一量的第二量之該陽極排放物提供至該ATO，且在該熱箱之外部提供該陽極排放物及該陰極排放物。

【請求項22】

如請求項21之方法，其進一步包含：

在位於該熱箱之外部的排放物氧化器中用該陰極排放物氧化該陽極排放物；及

在該常規穩態模式期間將來自該排放物氧化器之排放物提供至熱電共生(CHP)系統。

【請求項23】

如請求項21之方法，其中在該低電流汲取穩態模式期間，該將該陽極排放物及該陰極排放物提供至該ATO包含：

將該陰極排放物連續地提供至該ATO；及

將該陽極排放物週期性地提供至該ATO。

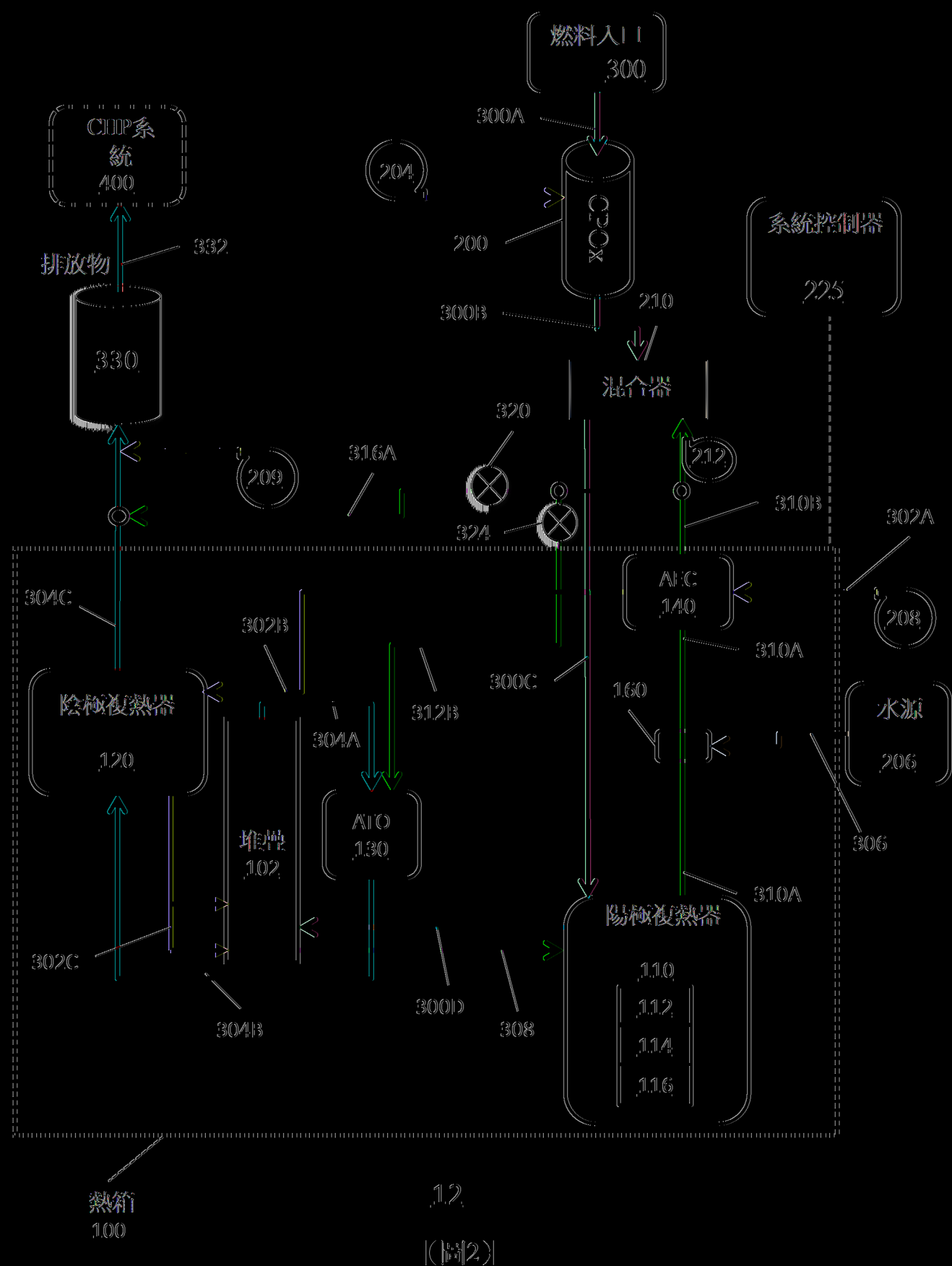
【請求項24】

如請求項21之方法，其中在該常規穩態模式下，不將該陽極排放物提供至該ATO。

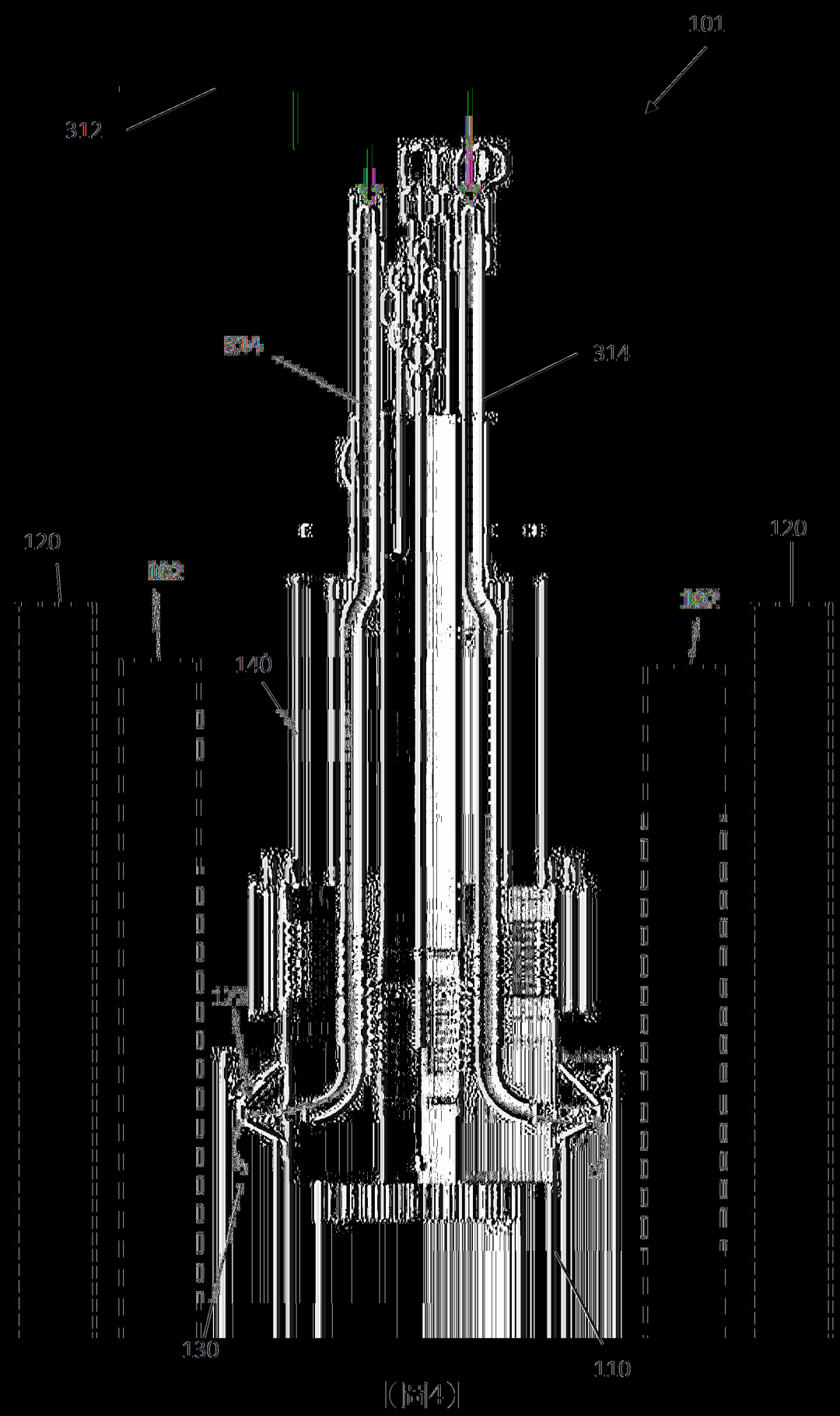
【請求項25】

如請求項21之方法，其中在該常規穩態模式下，將該第二量之陽極排放物提供至該ATO。









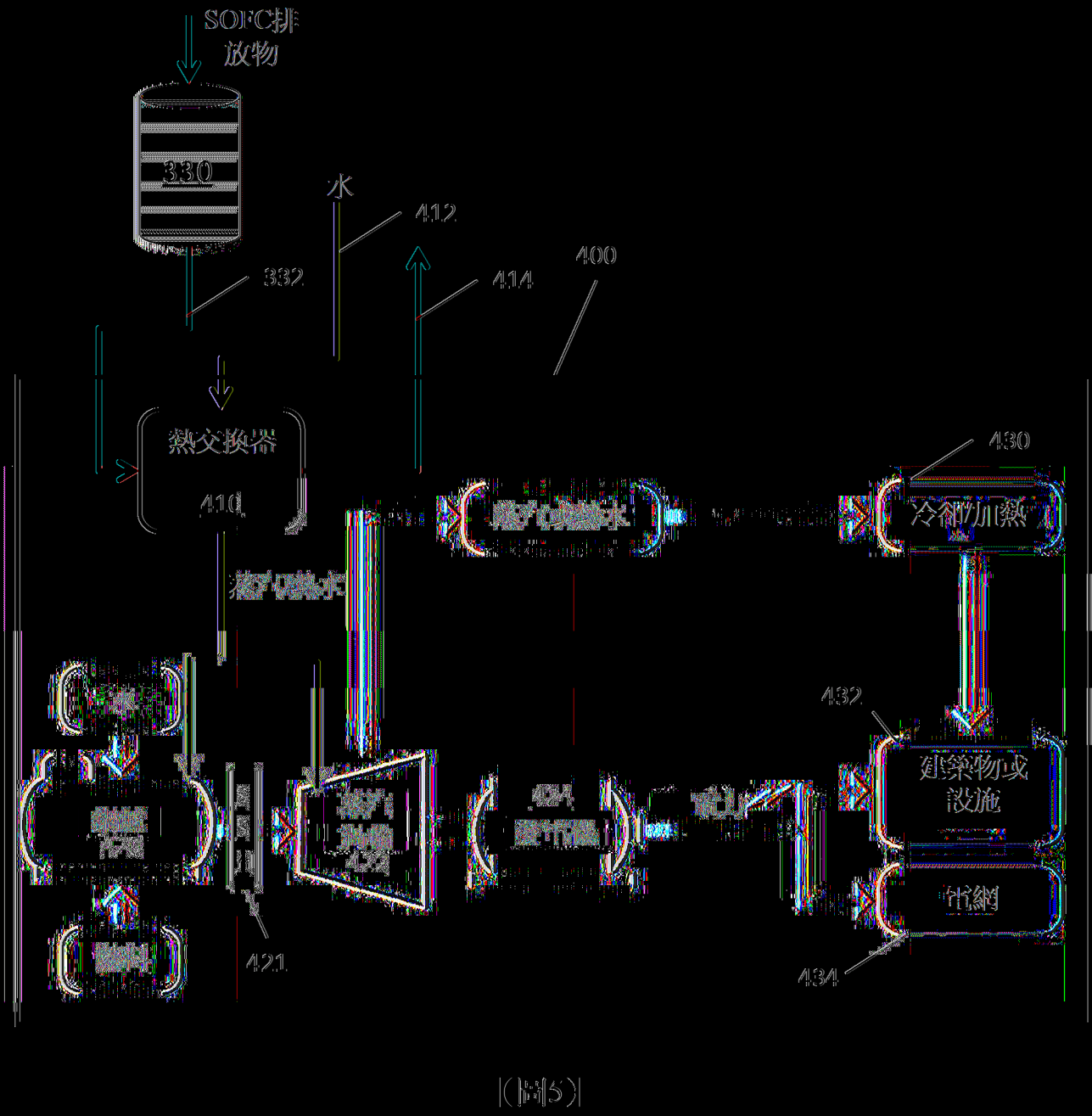


圖5

