



(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 I634261 B

(45)公告日：中華民國 107 (2018) 年 09 月 01 日

(21)申請案號：106103049

(22)申請日：中華民國 100 (2011) 年 09 月 20 日

(51)Int. Cl. : **F02C6/00 (2006.01)**

(30)優先權：2010/09/21 美國 61/385,039

2010/09/21 美國 61/385,047

2011/01/28 美國 61/437,330

(71)申請人：美商八河資本有限公司 (美國) 8 RIVERS CAPTTAL, LLC (US)

美國

(72)發明人：帕爾默 邁爾斯 PALMER, MILES R. (US)；阿拉姆 羅德尼 約翰 ALLAM, RODNEY JOHN (US)；菲特維德 傑瑞米 艾朗 FETVEDT, JEREMY ERON (US)

(74)代理人：蔡清福

(56)參考文獻：

TW 384351

TW 200412393A

CN 1177997A

CN 1584297A

EP 1803897A2

US 6241469B1

審查人員：謝瑞南

申請專利範圍項數：14 項 圖式數：19 共 70 頁

(54)名稱

高效率發電組合

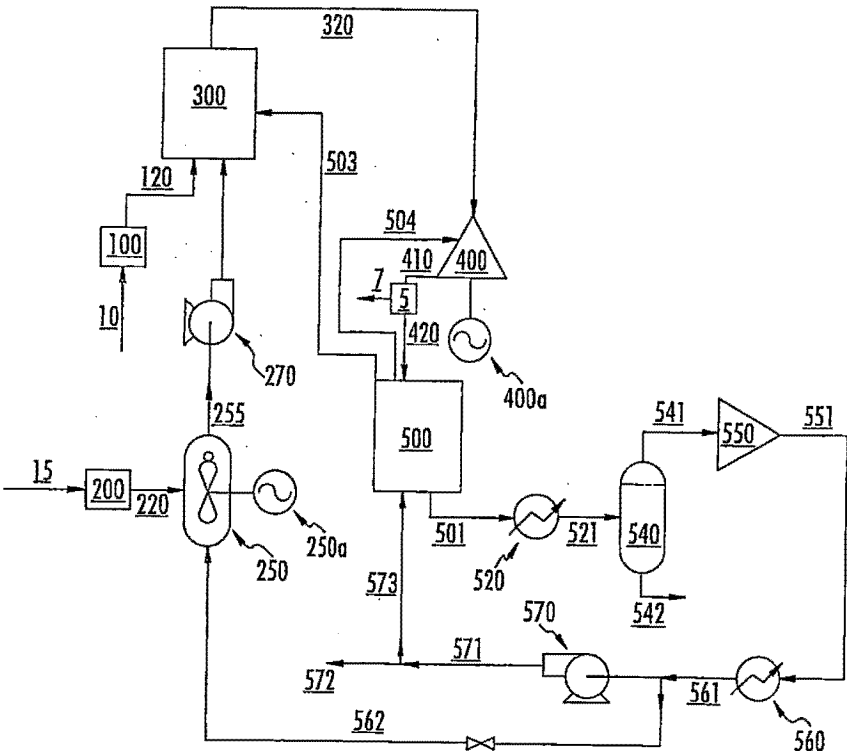
HIGH EFFICIENCY POWER PRODUCTION ASSEMBLY

(57)摘要

本揭露內容提供了用於發電的方法、組合以及系統，其可允許增加的效率以及較低的成本組件，該增加的效率以及較低的成本源自控制、降低或消除微粒造成的渦輪機葉片機械性腐蝕或由燃燒產物流中之氣體造成的化學腐蝕。該方法、組合以及系統可包括渦輪機葉片的使用，該渦輪機葉片以相對於典型發電系統中所使用之傳統渦輪機顯著降低的葉片速度操作。該方法以及系統也可使用被回收的循環流體用於該渦輪機及/或其他的組件的蒸散保護。此外，被回收的循環流體可被利用以提供清洗材料至該渦輪機。

The present disclosure provides methods, assemblies, and systems for power production that can allow for increased efficiency and lower cost components arising from the control, reduction, or elimination of turbine blade mechanical erosion by particulates or chemical erosion by gases in a combustion product flow. The methods, assemblies, and systems can include the use of turbine blades that operate with a blade velocity that is significantly reduced in relation to conventional turbines used in typical power production systems. The methods and systems also can make use of a recycled circulating fluid for transpiration protection of the turbine and/or other components. Further, recycled circulating fluid may be employed to provide cleaning materials to the turbine.

指定代表圖：



第1圖

符號簡單說明：

- 5 . . . 過濾器
- 7 . . . 微粒流
- 10 . . . 環境空氣
- 15 . . . 固體燃料
- 100 . . . 空氣分離單元
- 120 . . . 富含氧的流
- 200 . . . 研磨裝置
- 220 . . . 微粒固體燃料
- 250 . . . 混合器
- 255 . . . 泥漿
- 270 . . . 幫浦
- 300 . . . 燃燒裝置
- 320 . . . 燃燒產物流
- 400 . . . 渦輪機
- 400a . . . 發電機
- 410 . . . 渦輪機排出流
- 420 . . . 已過濾的渦輪機排出流
- 500 . . . 熱交換器
- 501 . . . 未處理的回收流
- 503 . . . 被回收循環流體的第一流
- 504 . . . 第二被回收循環流體流
- 520 . . . 冷水熱交換器
- 521 . . . 流
- 540 . . . 分離器
- 541 . . . 被純化循環流體流
- 542 . . . 流
- 550 . . . 壓縮機
- 551 . . . 流

- 560 . . . 冷水熱交換器
- 561 . . . CO₂ 循環流體流
- 562 . . . CO₂ 側取出物
- 570 . . . 壓縮機
- 571 . . . CO₂ 循環流體流
- 572 . . . 流
- 573 . . . CO₂ 循環流體流

片設計、操作壓力以及操作速度結合，以考慮到在一範圍內之溫度、壓力以及速度的渦輪機操作的客製化，其控制、降低或消除由顆粒影響或該渦輪機葉片之化學降解所引起的腐蝕。特別是，該渦輪機葉片可經由將蒸散流體（例如，被回收的工作流體）穿過該渦輪機葉片而併入蒸散保護。取決於所使用之該蒸散流體的溫度，這種蒸散保護可包括葉片冷卻。相比於傳統發電系統中的渦輪機葉片，由於該渦輪機葉片能以顯著降低的速度旋轉，本揭露內容可提供降低腐蝕、增加葉片壽命以及降低葉片強度的需求。此外，該具創造性的渦輪機能在較高的效率以及較低的溫度下操作，其能夠得到較低的操作成本、較長的服務時間以及較低的燃料使用。

【0008】 在一個特定的具體實施例中，一種發電方法被提供。該方法可包含將燃料、 O_2 以及循環流體導入燃燒器中，燃燒該燃燒器中的該燃料以提供包括該循環流體以及微粒內容物/微粒的一內容物(a content of particulates)的燃燒產物流，該燃燒產物流以被定義的速度流動，以及使該燃燒產物流膨脹穿過包含多個渦輪機葉片的渦輪機，以產生功率以及輸出渦輪機排出流，該渦輪機被操作，使得該渦輪機葉片以少於約 500 mph 的葉片速度旋轉。

【0009】 該方法更可包含將該渦輪機排出流穿過過濾器，該過濾器被配置以大體上/實質上移除包含在該渦輪機排出流中的所有微粒以及形成已過濾的渦輪機排出流。該方法也可包含將該已過濾的渦輪機排出流穿過熱交換器，以提供被冷卻的渦輪機排出流，處理該被冷卻的渦輪機排出流以提取該渦輪機排出流的一或更多的成分，以及將該處理過的渦輪機排出流穿回通過該熱交換器，以提供被加熱的、被回收的循環流體流。該方法可額外地包含將至少一部分的該被加熱、回收的循環流體流引導至該燃燒器。此外，該方法可包含將至少一部分的該被加熱、被回收的循環流體流引導至該渦輪機。同樣的，該方法可包含將至少一部分的該被加熱、被回收的循環流體流引導至清洗材料單元，其中該被加熱、被回收的循環流體流與清洗材料結合以形成清洗材料流，該清洗材料流中的該清洗材料被配置以移除因存在於該燃燒產物流中之該微粒內容物而引起的該渦輪機葉片上的沉

積物。

【0010】該清洗材料流可被直接輸入至該渦輪機中。此外，該清洗材料流可與該燃燒產物流結合，以形成可被導入至該渦輪機中的結合的燃燒產物及清洗材料流。該循環流體可包含 CO_2 ，其可以超臨界狀態而被提供。此外，該方法可包括結合該已過濾的渦輪機排出流與微粒固體燃料，以形成為泥漿形式的額外燃料，以及將該額外的燃料導入至該燃燒器。同樣的，該方法可包括使用至少一部分的被回收循環流體作為蒸散流體。使用作為該蒸散流體的該被回收循環流體可包含將該蒸散流體散發至該渦輪機葉片的外部表面。將該蒸散流體散發至該渦輪機葉片的該外部表面可包含經由多孔燒結材料來散發該蒸散流體。

【0011】在另一個具體實施例中，一種發電系統被提供。該發電系統可包含被配置以接收燃料、 O_2 以及循環流體並具有至少一燃燒階段的燃燒器、與該燃燒器流體相通的渦輪機、用於釋放渦輪機排出流的出口、多個足夠尺寸而使得該渦輪機以小於約 500 mph 的葉片速度操作的渦輪機葉片、以及與該渦輪機之該出口流體相通並被配置以產生已過濾之渦輪機排出流的過濾器，該至少一燃燒階段燃燒該燃料並提供了包括該循環流體以及微粒內容物的燃燒產物流，該渦輪機具有用於接收該燃燒產物流的進口。

【0012】該發電系統更可包含與該過濾器流體相通並被配置以接收該已過濾之渦輪機排出流的熱交換器。該發電系統也可包含與該熱交換器流體相通的清洗材料單元，該清洗材料單元被配置以結合清洗材料與從該熱交換器接收的流體流，以形成清洗材料流。該發電系統可額外地包括被配置以結合該清洗材料流與該燃燒產物流的流結合器開關，以形成結合的燃燒產物及清洗材料流，並將該結合的燃燒產物及清洗材料流引導至該渦輪機。

【0013】該葉片可包含多孔燒結材料，以及該多孔燒結材料可被配置以將蒸散流體引導至該葉片的外部表面。該多孔燒結材料可定義該葉片之該外部表面的全體。此外，該渦輪機可包含轉子，以及該轉子可包含該多孔燒結材料，以及該多孔燒結材料可被配置以將該蒸散流體引導至該轉子的外部表面。

【0014】在另一個具體實施例中，一種發電方法被提供。該方法可包含將燃料、 O_2 以及 CO_2 循環流體導入至燃燒器中，燃燒該燃料以提供包含 CO_2 的燃燒產物流，將該燃燒產物流膨脹穿過渦輪機以產生功率並輸出渦輪機排出流，處理該渦輪機排出流以將至少一部分的該 CO_2 循環流體回收至該燃燒器中，提取一部分被回收的該 CO_2 循環流體，以及使用該被回收的 CO_2 循環流體作為蒸散流體。

【0015】使用該被回收的 CO_2 循環流體作為該蒸散流體可包含散發該渦輪機中該被回收的 CO_2 循環流體。使用該被回收的 CO_2 循環流體作為該蒸散流體可包含散發該燃燒器中的該被回收的 CO_2 循環流體。該方法更可包含經由導管而將該燃燒產物流從該燃燒器引導至該渦輪機，以及使用該被回收的 CO_2 循環流體作為該蒸散流體可包含散發該導管中的該被回收的 CO_2 循環流體。該方法也可包括將該被回收的 CO_2 循環流體的條件定為小於該燃燒產物流之溫度的溫度。該方法可額外地包括將該被回收的 CO_2 循環流體的條件定為大體上/實質上等於該燃燒產物流之溫度的溫度。同樣的，該方法可包括將該被回收的 CO_2 循環流體的條件定為大於該燃燒產物流之溫度的溫度。

【0016】在另一個具體實施例中，一種發電系統被提供。該系統可包含：燃燒器，該燃燒器被配置以接收燃料、 O_2 以及 CO_2 循環流體流，且具有至少一燃燒階段，該至少一燃燒階段在該 CO_2 循環流體流的存在下燃燒該燃料，以提供包含 CO_2 的燃燒產物流；與該燃燒器流體相通的渦輪機，該渦輪機具有用於接收該燃燒產物流的進口、用於釋放包含 CO_2 之渦輪機排出流的出口以及多個渦輪機葉片，其中該燃燒產物流作用於該渦輪機葉片上，以旋轉該渦輪機並產生功率；以及被配置以處理該渦輪機排出流的一或更多個組件，以形成被回收的 CO_2 循環流體流；其中該系統的一或更多個組件被配置以使用一部分的該被回收的 CO_2 循環流體流作為蒸散流體。

【0017】被配置以處理該渦輪機排出流以形成該被回收的 CO_2 循環流體流的該一或更多個組件可包含過濾器、熱交換器、分離器及/或壓縮機。被配置以使用該部分的被回收的 CO_2 循環流體流作為該蒸散流體之該一或更多

個組件可包含多孔燒結材料，該多孔燒結材被配置以經由其而接收該蒸散流體。該渦輪機葉片可具有小於約 0.275 m 的葉片高度。該渦輪機可包含少於 2000 個該渦輪機葉片。該渦輪機長度比上該葉片平均直徑的比例可大於 4。

【0018】 在另一個具體實施例中，一種渦輪機組合被提供。該組合可包含多個組件，該多個組件包括定義一被配置以接收燃燒產物流之進口以及一出口的殼。該組件更可包含位於該殼中的轉子以及從該轉子延伸的多個葉片，其中一或更多的該組件包含多孔燒結材料，該多孔燒結材料被配置以經由其而引導蒸散流體。

【0019】 該多孔燒結材料可定義該葉片外部表面的全部。該殼可包含該多孔燒結材料，以及該多孔燒結材料可被配置以將該蒸散流體引導至該殼的內部表面。該轉子可包含該多孔燒結材料，以及該多孔燒結材料可被配置以將該蒸散流體引導至該轉子的外部表面。該轉子可包含被配置以使繞著該轉子的該燃燒產物流轉向的環形分流器。該組合更可包含進口導管，該進口導管耦合至該殼之該進口，且被配置以耦合至燃燒器組合的出口並從其接收該燃燒產物流，以及該進口導管可包含該多孔燒結材料，以及該多孔燒結材料可被配置以將該蒸散流體引導至該進口導管的內部表面。該殼的該進口可被配置以直接耦合至燃燒器組合的出口。該殼的該進口可被配置以從多個燃燒器接收該燃燒產物流，該多個燃燒器關於由該轉子定義的主軸而被放射狀地配置。

【0020】 該葉片可包含該多孔燒結材料，以及該多孔燒結材料可被配置以將該蒸散流體引導至該葉片的外部表面。該葉片分別可進一步包含至少一加強構件。該加強構件可包含延伸通過每個該葉片中該多孔燒結材料的桿子。該加強構件可包含核心，以及該多孔燒結材料可繞著該核心延伸。該核心可定義被配置以接收該蒸散流體並將該蒸散流體引導至該多孔燒結材料中的一或更多個通道。一或更多個通道可在該葉片中被定義，以及該通道可被配置以接收該蒸散流體並將該蒸散流體引導至該多孔燒結材料中。每個該葉片可從前緣延伸至後緣，以及該葉片可被配置以定義在該前緣的

該蒸散流體的流，其大於在該後緣之該蒸散流體流。每個該葉片可定義在該前緣的蒸散流體進口區域，其大於在該後緣之蒸散流體進口區域。每個該葉片可定義在該後緣大於在該前緣的壁厚度。每個該葉片可從該轉子的根部延伸尖端，以及該多孔燒結材料可定義在該根部以及該尖端之間不同的多孔性。該多孔燒結材料的多孔性可被配置以定義在該尖端的該蒸散流體的流，其大於在該根部之該蒸散流體的流。該多孔燒結材料的該多孔性可被配置以定義在該尖端的該蒸散流體的流，其大體上/實質上等於在該根部之該蒸散流體的流。該多孔燒結材料可定義多個層，其中該多個層的多孔性從該根部至該尖端增加。該葉片每個可分別定義包含多個內肋的整體結構。

【0021】該渦輪機組合的組件更可包含多個定子，其中該定子包含該多孔燒結材料，以及該多孔燒結材料可被配置以將該蒸散流體引導至該定子的外部表面。該渦輪機組合更可包含一或更多的封條，其中一或更多個該組件被配置以將該蒸散流體引導至該封條。該封條可包含該多孔燒結材料。在另一個具體實施例中，一種渦輪機組合被提供。該渦輪機組合可包含定義進口以及出口的殼，該進口被配置以接收燃燒產物流。該組合更可包含位於該殼中的轉子以及從該轉子延伸的多個葉片，其中該渦輪機組合長度比上該多個葉片平均直徑的比例大於 4。

【0022】該渦輪機葉片可具有小於約 0.275 m 的葉片高度。該渦輪機組合可包含小於 2000 個葉片。該葉片可為蒸散保護的。此外，該葉片包含被配置以將蒸散流體引導至該葉片外部表面的多孔燒結材料。

【0023】本發明的其他方面以及優勢將從下述而變得更顯而易見。

【圖式簡單說明】

【0024】

因此在以一般用語描述的本揭露內容的情況下，將參照伴隨的圖式，其中：

- 第 1 圖根據一個範例具體實施例而提供了燃燒循環以及系統的流程圖；
- 第 2 圖根據進一步的範例具體實施例而提供了燃燒循環以及系統的流程圖；
- 第 3 圖依照一個範例具體實施例而提供了穿過燃燒器的截面圖；
- 第 4 圖依照一個範例具體實施例而提供了穿過渦輪機的截面圖，該渦輪機包括進口導管；
- 第 5 圖依照一個範例具體實施例而提供了穿過渦輪機以及多個放射狀配置之燃燒器的縱向截面圖；
- 第 6 圖提供了穿過第 5 圖之該渦輪機以及燃燒器系統的橫向截面圖；
- 第 7 圖依照一個範例具體實施例而提供了穿過包括核心之渦輪機的橫向截面圖；
- 第 8 圖依照一個範例具體實施例而提供了穿過進口導管的部分截面圖，該進口導管包含第一以及第二層；
- 第 9 圖依照一個範例具體實施例而提供了穿過進口導管的部分截面圖，該進口導管包含四層；
- 第 10 圖依照一個範例具體實施例而提供了渦輪機葉片的前緣與後緣之間的截面圖，該渦輪機葉片包含加強桿以及被配置成用以接收蒸散流體的通道；
- 第 11 圖依照一個範例具體實施例而描繪了渦輪機葉片的前緣與後緣之間的截面圖，該渦輪機葉片包括定義被配置成用以接收蒸散流體之通道的整體內肋；
- 第 12 圖描繪了第 11 圖之該渦輪機葉片的尖端與基部構件之間的截面圖；
- 第 13 圖描繪了第 11 圖之該渦輪機葉片的透視圖；
- 第 14 圖依照一個範例具體實施例而描繪了渦輪機葉片之前緣與後緣之間的截面圖，該渦輪機葉片定義在該前緣與後緣之間的不同材料厚度；
- 第 15A 圖依照一個範例具體實施例而描繪了渦輪機葉片之根部與尖端之間的部分截面圖，該渦輪機葉片包括定義該根部與尖端之間不同多

孔性的材料層；

第 15B 圖依照一個範例具體實施例而描繪了渦輪機葉片之該根部與尖端之間的部分截面圖，該渦輪機葉片定義該根部與尖端之間的多孔性梯度；

第 16 圖依照一個範例具體實施例而描繪了渦輪機中顆粒的計算顆粒軌跡；

第 17 圖依照一個範例具體實施例而提供了燃燒器中燃燒產物流中為軸向移動距離函數之微粒放射移動距離的圖表描繪；

第 18 圖描繪了在傳統天然氣電廠中使用之傳統渦輪機的縱長橫截面；以及

第 19 圖根據範例具體實施例而描繪了渦輪機的縱長橫截面，該範例具體實施例在大小上大體上小於傳統渦輪機。

【實施方式】

【0025】本揭露內容現在將經由參照各種具體實施例而在本文後更充分地描述。這些具體實施例被提供，以至於此揭露內容將為詳盡且徹底的，且將把本揭露內容完全傳達至本領域的技術人員。的確，本揭露內容可使用許多不同的形式體現，且不應被理解為限於本文中所提及的具體實施例；更確切而言，這些具體實施例被提供，以至於此揭露內容將滿足適當的法律需求。如同本說明書中以及所附帶之申請專利範圍中所使用的，除非該上下文清楚地另外指出，否則該單數形式「一 (a)」、「一 (an)」、「該」包括複數指稱對象。

【0026】在一個具體實施例中的本揭露內容關於渦輪機葉片設計以及使用方法，其可降低或甚至消除由空氣或蒸氣造成或由顆粒影響造成之化學降解(chemical degradation)所引起的渦輪機葉片腐蝕。本揭露內容也提供了可提供高效率操作的發電方法以及系統，同時減少或甚至消除由燃燒產物流(combustion production flow)中之微粒引起的渦輪機葉片腐蝕，而不需要在穿過該渦輪機之前過濾。因為其允許該渦輪機以較高的總微粒濃度處理燃

燒產物流，葉片腐蝕的降低及/或消除腐蝕可簡化發電系統，並增加可能的原料(feedstocks)，因此在使用該燃燒產物中包括相對高微粒濃度之原料（例如煤炭）的燃燒過程中特別有利。

【0027】關於該燃燒產物流之成分，如同所使用的，該用語「微粒(particulate)」以及「顆粒(particle)」(包括單數形式的這種用語)具體而言包含以典型地被了解為顆粒特徵的相對小的單位大小而存在於該燃燒產物流中的固體以及液體材料，特別是關於該燃燒產物流的整體體積。在一些具體實施例中，顆粒或微粒可包含在非氣體狀態中之該燃燒產物流中的任何材料。液體微粒具體而言可包含在該燃燒產物流之溫度為液體、但在低於該燃燒產物流之溫度為固體的材料，例如比該燃燒產物流之溫度低至少 10°C 、至少 15°C 、至少 20°C 、至少 30°C 、至少 50°C 或至少 100°C 。這種液體微粒可具有至少為室溫、至少為大約 40°C 、至少為大約 50°C 、至少為大約 60°C 、至少為大約 80°C 、至少為大約 100°C 或至少為大約 200°C 的凝固點(freezing point)。在特定的具體實施例中，該液體顆粒可具有落在上列溫度之任何組合內的凝固點（例如，在為比該燃燒產物流之溫度低至少 10°C 以及至少為室溫的範圍內）。

【0028】在特定的具體實施例中，本揭露內容領悟到在渦輪機葉片上的顆粒衝擊傷害相關於葉片速度。特別是，由顆粒衝擊引起的傷害率(damage rate)可如同接近葉片速度相對於顆粒速度之比例的三次方(the cube of blade velocity relative to particle velocity)而改變。就這一點而言，在美國中所使用的標準交流電頻率是 60 Hz。此外，美國中的發電系統典型地驅動在 1,800 rpm ($30 \times 60 \text{ Hz}$) 或 3,600 rpm ($60 \times 60 \text{ Hz}$) 操作的同步交流電發電機，雖然應了解的是，該渦輪機可在其他的 rpm 範圍內旋轉。就這一點而言，其他的國家可利用不同的標準交流電頻率。例如，英國以 50 Hz 的頻率操作。此外，發電機系統可利用以任何速度驅動的永久磁鐵直流電發電機，使得該直流電被轉換成具有想要頻率的交流電。因此，應了解的是，本文中所討論的頻率僅提供用於範例的目的。

【0029】然而，在包括同步交流電發電機之發電系統以及方法中所使用的

已知氣渦輪機典型地以 600 mph (268 m/s) 或更高的葉片速度操作。典型在現有蒸氣以及氣渦輪機中的葉片速度下，燃燒產物流中甚至非常小的微粒的存在可導致葉片腐蝕。然而，本揭露內容已辨認到經由葉片結構以及操作中的改變而克服葉片腐蝕的能力，該葉片結構以及操作中的改變允許/考慮到(allow for)被減低的葉片速度。在特定的具體實施例中，根據本揭露內容，在該葉片尖端的葉片速度可為大約 20 m/s 至約 340 m/s。更具體而言，該葉片速度可低於 200 m/s、低於 100 m/s 或從大約 50 m/s 至約 75 m/s。在一個具體實施例中，本揭露內容可提供以比典型葉片速度低大約 3 倍之葉片速度（即，200 mph (89 m/s)）的渦輪機操作，其可導致降低 27 倍或更多的葉片腐蝕率(blade erosion rate)。在一個具體實施例中，150 mph (67 m/s) 的葉片速度 - 即，比典型葉片速度降低四倍 - 可提供接近降低 64 倍的葉片傷害率。

【0030】以較低的速度在發電系統中操作該渦輪機的能力可由各種因素引起，該因素可單獨地或以多重組合而體現。例如，該渦輪機葉片能以考慮到該葉片速度被減慢至顆粒影響不再造成該渦輪機葉片腐蝕之尺寸而被設計。更具體而言，操作葉片速度可被降低至低於會腐蝕發生的臨界速度 (critical velocity)。就這一點而言，藉由下述方程式提供了葉片上在任何給定點的葉片速度：

$$v = (\text{rpm}/60) * 2 * \pi * r \quad (\text{方程式 1})$$

其中：

v = 葉片速度 (m/s)，

rpm = 每分鐘該葉片的旋轉數，

π = pi，以及

r = 該轉子中心以及該葉片上該葉片速度將被決定的點之間的距離 (m) (例如，半徑)。

更要注意的是，在葉片尖端的葉片速度由下述方程式提供：

$$v_t = (\text{rpm}/60) * 2 * \pi * (a+b) \quad (\text{方程式 2})$$

其中：

v_t = 在該葉片尖端的葉片速度 (m/s),

rpm = 每分鐘該葉片的旋轉數,

π = pi,

a = 在該葉片之該轉子的半徑 (m), 以及

b = 葉片高度 (m)。

【0031】 因此，每個葉片的最大葉片速度可藉由減少該葉片從該轉子中心延伸的距離而降低。如下述所討論的，在本揭露內容之渦輪機中，藉由以中等流速利用具有相對高流體密度(fluid density)與高壓力的超臨界流體(super critical fluid)使得具有延伸至相對較小半徑之葉片的渦輪機的使用變可能。此外，在該渦輪機中利用高密度工作流體(working fluid)可藉由改進冷卻該葉片的蒸散能力而為顯著降低的渦輪機葉片溫度作準備。

【0032】 葉片高度（即，從該渦輪軸（例如轉子）外表面處的根部至該葉片尖端的距離）較佳小於約 0.275 m。在特定的具體實施例中，平均的葉片高度可大約為 0.05 m 至約 0.25 m、大約 0.075 m 至約 0.225 m、大約 0.1 m 至約 0.2 m 或大約 0.125 m 至約 0.175 m。在特定的具體實施例中，實際的葉片高度可從該渦輪機進口至該渦輪機出口而不同。例如，在該進口的葉片高度可低於該平均，並朝該出口增加，使得在該出口的葉片高度高於該平均。平均葉片寬度可為大約 0.025 m 至約 0.125 m、大約 0.04 m 至約 0.11 m、大約 0.05 m 至約 0.1 m 或大約 0.06 m 至約 0.09 m。在其他具體實施例中，葉片高度以及寬度可為考慮到在本文中所描述的速度下操作的進一步尺寸。

【0033】 該具創造性的渦輪機以及操作方法的特徵也可在於整體的渦輪機尺寸。例如，根據本揭露內容的渦輪機可具有小於約 11 m、小於約 10 m 或小於約 9 m 的整體長度。在進一步的具體實施例中，整體的渦輪機長度可為大約 6 m 至約 10 m、大約 6.5 m 至約 9.5 m、大約 7 m 至約 9 m 或大約 7.5 m 至約 8.5 m。根據本揭露內容的渦輪機可具有小於約 3.5 m、小於約 3 m 或小於約 2.5 m 的平均直徑。在進一步的具體實施例中，平均的渦輪機直徑可為大約 0.25 m 至約 3 m、大約 0.5 m 至約 2 m 或大約 0.5 m 至約 1.5 m。

渦輪機長度比上渦輪機平均直徑（即，該渦輪機葉片直徑）的比例可為大於約 3.5、大於約 4、大於約 4.5 或大於約 5。在特定的具體實施例中，渦輪機長度比上渦輪機平均直徑的比例可為大約 3.5 至約 7.5、大約 4 至約 7、大約 4.5 至約 6.5 或大約 5 至約 6。上述比例具體而言可關於該渦輪機的總長度。在一些具體實施例中，總長度可意指該殼從進口至出口的長度。在某些具體實施例中，總長度可意指該殼內從緊接著鄰近該進口之渦輪機葉片至緊接著鄰近該出口之渦輪機葉片的距離。

【0034】同樣地，該具創造性的渦輪機以及操作方法的特徵可在於平均的葉片半徑（該轉子中心至該渦輪機葉片尖端）。較佳地，該渦輪機以小於約 1.2 m、小於約 1.1 m、小於約 1 m、小於約 0.9 m、小於約 0.8 m、小於約 0.7 m 或小於約 0.6 m 的平均葉片半徑操作。渦輪機葉片半徑具體而言可為大約 0.25 m 至約 1 m、大約 0.275 m 至約 0.8 m、大約 0.3 m 至約 0.7 m、大約 0.325 m 至約 0.6 m、大約 0.35 m 至約 0.5 m 或大約 0.375 m 至約 0.475 m。

【0035】在某些具體實施例中，根據本揭露內容有用的渦輪機可具有顯著小於存在於典型氣渦輪機系統中的渦輪機葉片總數。具體而言，該具創造性的渦輪機可具有小於約 3,000 個葉片、小於約 2,500 個葉片或小於約 2,000 個葉片。在進一步的具體實施例中，渦輪機中的葉片數可為大約 500 至約 2,500、大約 750 至約 2,250、大約 1,000 至約 2,000 或大約 1,250 至約 1,750。

【0036】在一些具體實施例中，相比於典型的氣渦輪機發電系統，經由以顯著增加的進口壓力及/或顯著增加的出口壓力及/或從進口至出口之顯著增加的壓降來操作，根據本揭露內容的渦輪機可特別以被降低的葉片速度來提供高效率發電。在特定的具體實施例中，該渦輪機能以至少為大約 25 巴（2.5 MPa）、至少為大約 50 巴（5 MPa）、至少為大約 100 巴（10 MPa）、至少為大約 150 巴（15 MPa）、至少為大約 200 巴（20 MPa）或至少為大約 250 巴（25 MPa）的進口壓力被操作。在進一步的具體實施例中，進口壓力可為大約 50 巴（5 MPa）至約 500 巴（50 MPa）、大約 100 巴（10 MPa）至約 450 巴（45 MPa）、大約 150 巴（15 MPa）至約 400 巴（40 MPa）、大約 200 巴（20 MPa）至約 400 巴（40 MPa）或大約 250 巴（25 MPa）至約

350 巴 (35 MPa)。

【0037】在進一步的具體實施例中，該渦輪機能以至少為大約 5 巴 (0.5 MPa)、至少為大約 10 巴 (1 MPa)、至少為大約 15 巴 (1.5 MPa)、至少為大約 20 巴 (2 MPa) 或至少為大約 25 巴 (2.5 MPa) 的出口壓力被操作。該出口壓力特別可為大約 10 巴 (1 MPa) 至約 50 巴 (5 MPa)、大約 15 巴 (1.5 MPa) 至約 45 巴 (4.5 MPa)、大約 20 巴 (2 MPa) 至約 40 巴 (4 MPa) 或大約 25 巴 (2.5 MPa) 至約 35 巴 (3.5 MPa)。

【0038】在其他的具體實施例中，渦輪機進口壓力比上渦輪機出口壓力的比例可為至少為大約 6、至少為大約 7、至少為大約 8、至少為大約 9 或至少為大約 10。在特定的具體實施例中，渦輪機進口壓力比上渦輪機出口壓力的比例可為大約 6 至約 15、大約 7 至約 14、大約 8 至約 12 或大約 9 至約 11。

【0039】仍在其他的具體實施例中，相比於典型發電系統中渦輪機的操作，根據本揭露內容的該渦輪機可在發電系統中以顯著增加的流量密度(flow density)下被操作。例如，該具創造性的渦輪機可在至少為大約 20 kg/m³、至少為大約 50 kg/m³、至少為大約 100 kg/m³、至少為大約 150 kg/m³、至少為大約 200 kg/m³ 或至少為大約 300 kg/m³、至少為大約 400 kg/m³、至少為大約 500 kg/m³ 或至少為大約 600 kg/m³ 的流量密度下被操作。

【0040】相對於依照本揭露內容的渦輪機，現有的氣渦輪機壓縮機可在從大約 1 巴 (0.1 MPa) 至約 15 巴 (1.5 MPa) 的出口壓力下運作，在該壓縮機部分具有範圍為 1 kg/m³ 至約 15 kg/m³ 的氣體密度(假設隔熱壓縮加熱)。由於其中相對低的溫度，在該壓縮機中腐蝕以及其他的問題可能不嚴重。然而，在熱的部分，該氣體溫度可從大約 1727°C 的高峰至約 527°C 而變化。在該熱部分之氣體的密度可從大約 5 kg/m³ 的高密度至大約 0.5 kg/m³ 的低密度而變化。因此，現有渦輪機內的條件可從依照本揭露內容之渦輪機內的條件中來相當地變化。

【0041】在較低的流速以及較高的溫度下使用較高的壓力可增加該渦輪機葉片上的力矩。因此，該渦輪機可包括被配置以降低施加至該葉片之力矩

的特徵。特別是，該渦輪機可比傳統渦輪機包括較大量的葉片、轉盤及/或階段，其分散於它們之間的該力矩以降低施加至個別葉片的力矩。此外，該葉片可定義被配置以施加較少力量以及力矩於該葉片上的攻角(an angle of attack)。特別是，該葉片可定義與穿過該渦輪機的流有關的減少角度，其誘導較少的阻力(drag)並增加升阻比(drag ratio)。因此，這些特徵可降低施加在每個葉片上的力矩，以至於它們可由相對較不堅固以及相對較不貴的材料形成。

【0042】 在一些具體實施例中，葉片腐蝕也可藉由結合任何上述特徵與一或更多的葉片冷卻方法而被控制、降低或消除。渦輪機葉片冷卻的任何方法可與本揭露內容結合，包括如同下面更完全描述的蒸散葉片冷卻(transpiration blade cooling)。就這一點而言，蒸散冷卻可被利用以冷卻渦輪機、燃燒器以及本文中所揭露之相關裝置的任何不同組件。特別關於該渦輪機，該殼、定子（例如，定子葉片）、封條(seals)、葉片（例如，渦輪機葉片）、轉子以及各種其他的內部組件可經由，例如，利用本文中所揭露的有孔材料而被蒸散冷卻。就這一點而言，該定子可包含該多孔燒結材料，以及該多孔燒結材料可被配置以將該蒸散流體引導至該定子的外部表面。此外，該渦輪機組合的一或更多個組件可被配置以將蒸散流體引導至該封條。在一些具體實施例中，該封條可包含該多孔燒結材料。依照本揭露內容之具體實施例可被蒸散冷卻的封條與定子的範例具體實施例描述於美國專利申請公開號第 2009/0142187 號，其全部內容併入於本文中以作為參考。然而，渦輪機、燃燒器以及相關裝置之組件的各種其他具體實施例也可依照本揭露內容而被蒸散冷卻。

【0043】 此外，相對於現有的蒸散冷卻技術，本文中所揭露的蒸散冷卻技術可提供改進的冷卻。目前的葉片冷卻典型地以從該渦輪機的該壓縮機放氣而實施。如同上面所描述，此空氣由於其相對低的密度（例如， $0.5\text{-}5\text{ kg/m}^3$ ）而具有有限的比熱，該相對低的密度由現有渦輪機中該渦輪機熱部分的相對低操作壓力所設定。此限制了熱轉移率。相對照地，如下所討論的，本揭露內容經由使用 CO_2 而提供了蒸散冷卻，其可提供改進的熱轉移。

【0044】由於該葉片或的長度所導致在其旋轉期間的高離心力，現有具體實施例渦輪機的熱轉移率也受到在該渦輪機葉片上相對大應力(stress)的限制。現有渦輪機中的冷卻通路因此必定被維持相對地小，且爲了限制由該冷卻通路造成之該葉片縱向強度的降低，它們必定不定義多於該葉片整體橫截面區域之相對小的部分。

【0045】該具創造性的渦輪機特別有用於發電系統以及方法中，因爲該渦輪機不只提供了被降低的葉片腐蝕，也可顯著降低總渦輪機成本。在特定的具體實施例中，相比典型發電系統中所使用的渦輪機，總渦輪機成本可降低至少 20%、至少 30%、至少 40%、至少 50%、至少 60%、至少 70%或至少 75%，而在電力輸出上沒有任何顯著的損失（即，小於 5%、小於 4%、小於 3%、小於 2%、小於 1%或小於 0.8%的損失）。由於，例如，在施加至該葉片之離心力的降低，成本的降低可藉由避免該葉片中對於超合金及/或其他昂貴材料的需要而發生。此外，儘管旋轉速度降低，藉由利用該渦輪機中高的進口溫度以及相對於渦輪機現有具體實施例的高操作壓力，可最小化功率輸出的降低。

【0046】在特定的具體實施例中，本揭露內容可包含可併入本渦輪機葉片設計以及操作模式的發電系統以及方法。例如，該具創造性的系統以及方法允許經由使用高效率燃料燃燒器（例如蒸散冷卻的燃燒器），可選地使用相關的循環流體（例如 CO₂ 循環流體）而發電。具體而言，使用具有高 CO₂ 回收比例(recycle ratio)的高壓力循環流體（或工作流體）提供了將一部分的該 CO₂ 循環流體引導至該渦輪機葉片用於蒸散冷卻的能力。

【0047】因爲腐蝕可爲渦輪機葉片溫度以及葉片材料組成物的函數，所以本揭露內容蒸散冷卻與該葉片設計以及操作模式的組合可爲特別有用的。渦輪機葉片設計以及以葉片操作溫度操作的組合可提供寬範圍的可能葉片操作速度以及葉片操作溫度，其中葉片腐蝕可被控制、降低或消除。在較低的葉片溫度下，腐蝕較低，且腐蝕開始的葉片速度可較高。選擇操作條件的能力是有利的，因爲其可允許使用可在較高的葉片速度下能抵抗腐蝕但不能在較高操作溫度下使用的金屬合金。就這一點而言，在較低的溫度

下，高強度鋼對於衝擊傷害是相對地免疫的。作為範例，在軍事載具上所使用的軋壓均質裝甲(rolled homogenous armor)不會被以高達 400 mph (179 m/s) 速度移動的固體鋼子彈傷害。

【0048】然而，在其他的具體實施例中，如同下面更完整描述的，蒸散可藉由預防燃燒產物流成分（例如，液體灰燼）的固化作用而達到葉片保護。在這種具體實施例中，蒸散冷卻可被定義為將該葉片（及/或其他組件）冷卻至低於該燃燒產物流之溫度的溫度。更特別的是，這種冷卻可被配置以具有較低的限制，該限制大於該燃燒產物流的成分（例如，液體灰燼）將結凍（或固化）且因此變成沉積在該渦輪機葉片上的溫度。例如，灰燼的軟化可在 590°C 開始，以及熔化可發生在 870°C。在沒有蒸散冷卻下，該渦輪機將需要在 590°C 之下好好操作，以避免灰燼集結在該葉片上，該溫度對於有效操作太低了。在有蒸散保護下，該渦輪機可在 870°C 以上操作，其中該灰燼是液體，但該液體滴不碰到或黏在該表面，因為該蒸散蒸汽層大體上/實質上(substantially)覆蓋了所有表面，該所有表面係在該渦輪機內部且因此受限於流經該渦輪機的流成分的接觸（例如，該渦輪機外殼的內部表面、該渦輪機內該渦輪機葉片的外部表面，等等）。因此，藉由維持該葉片較涼以及藉由以蒸散流體形式作為冷卻劑的 CO₂ 取代空氣或空氣/蒸氣作為冷卻劑，蒸散保護不僅可降低或消除由於顆粒影響造成之機械性腐蝕的降解，也降低或消除化學降解。

【0049】在一些具體實施例中，該渦輪機以與該燃燒產物流速度有關/成比例的葉片速度而被操作可為有用的。在這種具體實施例中，流速顯著小於典型燃燒過程中的流速可為特別地有利。例如，根據本揭露內容的流速可為小於約 400 mph (179 m/s)、小於約 350 mph (156 m/s)、小於約 300 mph (134 m/s)、小於約 250 mph (112 m/s)、小於約 200 mph (89 m/s)、小於約 150 mph (67 m/s) 或小於約 100 mph (45 m/s)。葉片尖端速度比上流速的比例較佳為大於 1、大於 1.5、大於 2、大於 2.5 或大於 3。具體而言，葉片尖端速度比上流速的比例可為大約 1 至約 5、大約 1.5 至約 4.75、大約 1.75 至約 4.5、大約 2 至約 4.25 或大約 2.5 至約 4。

【0050】由於腐蝕，渦輪機可隨著時間經歷性能的下降(degradation in performance)（例如，經過降低的效率及/或功率輸出）。例如，傳統渦輪機在二至三年的期間可經歷 10%功率損失的操作性下降。修復該渦輪機的徹底檢修可花費接近 50%的該渦輪機購買成本。因此，在 20 年的壽命期間，現有的渦輪機可被徹底檢修共八次，其總共可花費該渦輪機初始購買價格的 4 倍。

【0051】此降解(degradation)可能是由於由殘餘灰塵顆粒造成的腐蝕，該灰塵顆粒穿過位於該燃燒器以及該渦輪機之間的空氣過濾系統。增加該過濾器的微粒移除效率可能不是可實行的選擇，因為這會限制氣流，並降低該渦輪機的效率。因此，本揭露內容的渦輪機可藉由最小化或消除來自腐蝕的傷害，而藉由最小化或消除徹底檢修的需要而提供顯著的成本節省。就這一點而言，與該顆粒以及葉片之間的碰撞相關的衝擊能耗散速率是接近正比於其之間相對速度的三次方。就這一點而言，渦輪機葉片的腐蝕傾向接近正比於衝擊能耗散速率（「衝擊功率(Impact Power)」），如下所描繪：

$$IP = kV^3/X \text{ (方程式 3)}$$

其中：

IP = 衝擊功率，

k = 基於該顆粒材料、該葉片材料、該室溫以及該衝擊角度(impact angle)的可變因數，

v = 該渦輪機葉片以及顆粒之間的相對速度，以及

X = 該衝擊交互作用的特徵長度。

【0052】藉由減低該葉片的速度以及提供蒸散保護，衝擊可被最小化或降低至低於發生腐蝕的門檻值，並且化學傷害也可被降低或消除。因此，與由於腐蝕而與徹底檢修相關的花費可被降低或消除，因此本文中所提供的渦輪機具體實施例可提供顯著的成本節省。此外，如上所提及，藉由消除使用昂貴超合金的需要，依照本揭露內容的渦輪機可比現有渦輪機相對較不昂貴。

【0053】在各種已知發電廠的具體實施例中，效率關鍵地取決於渦輪機進

口溫度。例如，已以高成本完成大量的工作，以達成允許高達約 1,350°C 之進口溫度的渦輪機技術。該渦輪機的進口溫度越高，該電廠的效率越高，但該渦輪機也越貴，且潛在地，其壽命就越短。因為該燃燒產物流的相對高溫，該渦輪機以能夠禁得起這種溫度的材料形成可為有利的。該渦輪機包含對可能存在於該燃燒產物流中之次要材料提供好的化學抗性的材料也可以是有用的。

【0054】在某些具體實施例中，本揭露內容可特別提供該渦輪機組件冷卻流體的使用。如同下面更完整描述的，例如，該具創造性的系統以及方法允許經由使用高效率燃料燃燒器（例如，蒸散冷卻的燃燒器）以及相關的循環流體（例如 CO₂ 循環流體）而發電。具體而言，一部分的該循環流體可被引導至該渦輪機組件，特別是該渦輪機葉片，以用於渦輪機冷卻中，例如經由蒸散冷卻。

【0055】例如，在一些具體實施例中，一部分的 CO₂ 循環流體可從該循環中提取（例如，從一部分的該循環，其中該循環流體是在有用於蒸散冷卻流體之條件下），並被引導至渦輪機以用於該組件的冷卻，特別是該渦輪機葉片。該葉片冷卻流體可從該渦輪機葉片中的洞（或穿孔）排出，並直接輸入至該渦輪機流中。因此，並非使用空氣作為蒸散冷卻流體（其如上述在其冷卻能力方面受到限制，且受到安全問題的阻礙），本揭露內容的方法以及系統提供了(provide for)非常大量高壓 CO₂、超臨界 CO₂ 以及甚至液體 CO₂ 作為渦輪機葉片冷卻介質的使用。這是非常有用的，因為相對於已知的葉片冷卻方法，其大比例地增加了該渦輪機葉片可用的冷卻能力。本揭露內容也是特別有用的，因為該 CO₂ 循環流體可非常大量地存在於該系統中，其允許(allow for)非常大量的冷卻流體移動穿過該渦輪機葉片。此穿過該渦輪機葉片之高體積及/或高質量流的 CO₂ 冷卻流體不只保護了該渦輪機葉片避免受到有用於高效率發電方法之極端的熱，也藉由穿過該葉片整個表面之該 CO₂ 冷卻流體的蒸散而幫助保護該渦輪機葉片避免受到該高溫氣體以及未過濾微粒材料流穿過該渦輪機的侵蝕性與腐蝕性作用。在一個具體實施例中，不管如上所描述之該顯著較高的渦輪機進口溫度（例如，1350°

C)，蒸散冷卻可提供大約 200°C 至約 700°C 的操作葉片溫度，其可因此允許使用包含比起目前使用之材料相對較不昂貴材料的渦輪機葉片，及/或使用較高的渦輪機進口溫度，其可導致較好的效率。前述蒸散冷卻的渦輪機組件可使用於任何發電方法以及系統中，其中高壓 CO₂（或比空氣或蒸氣較不具侵蝕性的其他流體，例如 N₂）可用於作為高回收比例的循環流體。

【0056】在特定的具體實施例中，比起高效率發電方法中使用的已知渦輪機葉片，使用 CO₂ 循環流體作為渦輪機葉片冷卻介質允許該渦輪機葉片以成本較低許多的材料製造，因為使用該 CO₂ 冷卻介質預防本揭露內容中的葉片被加熱至周圍燃燒產物流的極端溫度，並降低該燃燒產物流的侵蝕性與腐蝕性作用。例如，根據本揭露內容，渦輪機葉片可從廣泛變化的高強度鋼或甚至相對低成本的鋼來製造。同樣地，該葉片可從碳複合材料(carbon composites)或甚至低溫材料（例如鋁）製造。被辨視為有用於氣渦輪機組件之技術領域中的任何材料，甚至有用於在低溫條件及/或低腐蝕性或低侵蝕性條件中使用之渦輪機技術領域中的任何材料，可用於製造根據本揭露內容的渦輪機組件。

【0057】根據本揭露內容，以一部分的 CO₂ 循環流體蒸散冷卻渦輪機葉片是更有用的，因為其可幫助含有灰燼的（或其他微粒物質及/或不可燃物質）燃燒氣體安全穿過該渦輪機，而不需於其間的過濾步驟以及組件。這可大大地簡化發電設備的設計，並增加可用於作為燃燒之燃料來源的材料類型。

【0058】關於該發電循環的熱力學，根據本揭露內容在渦輪機組件的蒸散冷卻中使用 CO₂ 循環流體也是有利的。相對於用於渦輪機葉片的已知蒸散介質，因為該 CO₂ 循環流體之大大被改善的冷卻能力，所以在被增加的溫度下且沒有該渦輪機之熱耐受性(heat tolerance)的限制來操作該燃燒器是可能的。因此，能夠以極高溫操作的燃燒器（例如，蒸散冷卻的燃燒器）可根據本揭露內容而在接近最大操作溫度下被操作，因為該燃燒產物流可穿過該 CO₂ 冷卻的渦輪機，而不傷害該渦輪機組件。這增加了該發電循環的可能/潛在熱力學效率達接近 100%。

【0059】該渦輪機葉片之渦輪機葉片設計、整體渦輪機設計以及蒸散冷卻

的任何組合可用於其中渦輪機葉片壽命如所想要而延長的任何發電方法中，例如在其中燃燒導致微粒形成的方法以及系統中。在一些具體實施例中，該方法以及系統特別可以是其中可使用循環流體的方法以及系統。例如，高壓 CO₂ 可被用於作為高回收比例的循環流體。

【0060】 例如，如本文中所描述的渦輪機可使用於方法以及系統中，其中 CO₂ 循環流體與適當的燃料、任何必要的氧化劑以及可有用於有效燃燒的任何相關材料一起被提供於燃燒器中。這種系統以及方法可包含在非常高溫（例如，在範圍為大約 1,600°C 至約 3,300°C 或甚至更高）下操作的燃燒器，以及該循環流體的存在可作用以調節離開該燃燒器之流體流的溫度，以至於該流體流可在用於發電的能量轉換中被使用。具體而言，燃燒產物流可被膨脹越過(expanded across)至少一渦輪機以產生功率。該被膨脹氣流可被冷卻以從該流中移除各種成分，例如水，以及從該被膨脹氣流中提取出的熱可被使用以加熱該 CO₂ 循環流體。該純化的循環流體流然後可被加壓並加熱而經由該燃燒器回收。可併入本揭露內容之渦輪機葉片設計（具有或不具有相關的葉片蒸散冷卻）的示範性發電系統以及方法被描述於美國專利申請公開號第 2011/0179799 號中，其全部內容被併入於本文中以作為參考。

【0061】 於燃燒功率循環(combustion power cycle)中根據本揭露內容之渦輪機的併入特別有用於關於導致微粒成分之燃料的燃燒。各種類型的煤炭，例如，可在發電循環中被燃燒，以產生具有灰燼及/或其他微粒內容物(content of ash and/or other particulates)的燃燒流。有利的是，當根據本揭露內容的渦輪機被併入於該燃燒循環中時，全部的燃燒產物流（即，包括全部的微粒內容物）可被導入該渦輪機中，而不需要初步的過濾步驟。這讓使用較高的渦輪機進口溫度變成可能，相對於需要在穿過該渦輪機之前過濾該燃燒產物的過程，其接著增加了燃燒效率。根據本揭露內容這是可能的，因為該具創造性的渦輪機可經歷顆粒影響而沒有顯著的腐蝕。然後微粒材料可從離開該渦輪機的該流中被過濾。

【0062】 根據本揭露內容所提供之燃燒循環的一個具體實施例被描繪於第 1

圖的流程圖中。在所描繪的具體實施例中，空氣分離單元 100 被提供以吸入環境空氣 10 以及輸出富含氧的流 120。該氧流 120 可包含具有莫耳純度 (molar purity) 至少為大約 50%、至少為大約 60%、至少為大約 70%、至少為大約 80%、至少為大約 85%、至少為大約 90% 或至少為大約 95% 的氧。該氧流 120 可藉由，例如，本技術領域中已知的任何空氣分離系統/技術而提供，例如，可實施低溫空氣分離過程 (cryogenic air separation process) 或 (從空氣) 高溫離子傳遞膜氧分離過程 (high temperature ion transport membrane oxygen separation process)。在特定的具體實施例中，富含氧的流可藉由低溫空氣分離過程的操作而產生，在該低溫空氣分離過程中，在該過程中的氧藉由唧取 (pump) 有效加熱至保持冷凍之環境溫度的液態氧而加壓。這種低溫唧取的氧設備可具有兩個空氣壓縮機，其兩個可被隔熱地操作而無中級際 (inter-stage) 冷卻。在特定的具體實施例中，包括有用於回收/恢復 (recover) 由該空氣分離單元產生的熱以及將該熱轉移至目前描述之系統的組件可以是有用的，在該系統中熱輸入可為想要的。

【0063】 在第 1 圖中所描繪的循環可有用於任何燃料來源的燃燒，該燃料來源包括微粒物質 (例如，灰燼) 作為該燃燒產物的成分。根據本揭露內容有用之燃料的非限制性範例包括各種等級以及類型的煤炭、木頭、油、來自油砂的焦油、瀝青、生物質、海藻、分等級的可燃固體廢料、柏油以及用過的輪胎。特別是，任何固體燃料材料可在本揭露內容中被使用，以及這種燃料特別可被磨碎、切碎或以其他方法處理，以適當地降低顆粒大小。當需要時，可加入流體化或泥漿般的介質，以達成適合的形式，以及以符合用於高壓唧取的流程需求。例如，參見第 1 圖，可將該固體燃料 15 通過研磨裝置 200，以提供成粉末狀的燃料。在其他的具體實施例中，該固體燃料 15 可在詳述的條件中被提供，以放棄就地研磨的需要。在特定的具體實施例中，該固體燃料 15 可具有大約 10 μm 至約 500 μm 、大約 25 μm 至約 400 μm 或大約 50 μm 至約 200 μm 的平均顆粒大小。在其他的具體實施例中，可描述該固體燃料 15，其中大於 50%、60%、70%、80%、90%、95% 或 99% 的該固體燃料顆粒具有小於約 500 μm 、400 μm 、300 μm 、200 μm

或 100 μm 的平均大小。

【0064】該固體燃料 15 可被適當地處理，以允許以足夠的速率以及以在該燃燒室內之壓力以上的壓力下注射至燃燒裝置中爲了提供這種特徵，該固體燃料 15 在室溫或升高的溫度下可爲具有適當流動性與黏性的液體、泥漿、膠狀或糊狀形式。例如，該固體燃料 15 可在大約 30°C 至約 500°C 、大約 40°C 至約 450°C 、大約 50°C 至約 425°C 或大約 75°C 至約 400°C 的溫度下被提供。當該固體燃料 15 是在磨碎、切碎或以其他方法處理的情況中，以至於顆粒大小被適當降低時，當需要時流體化或泥漿狀的介質可被加入，以達成適合的形式，並達到用於高壓唧取的流需求。如同第 1 圖之具體實施例中所描繪的，由該研磨裝置 200 而產生自該固體燃料 15 的微粒固體燃料 220 可與流體化的物質(fluidizing substance)混合，以提供爲泥漿形式的煤炭。特別是，該微粒固體燃料 220 在混合器 250 中與來自回收 CO_2 循環流體流 561 的 CO_2 側取出物(CO_2 side draw)562 結合。該 CO_2 側取出物 562 可被提供在超臨界、高密度的狀態。在特定的具體實施例中，被使用以形成該泥漿的 CO_2 可具有大約 450 kg/m^3 至約 $1,100 \text{ kg/m}^3$ 的密度。更特別的是，該 CO_2 側取出物 562 可與該微粒固體燃料 220 配合，以形成具有，例如，大約 10 重量%至約 75 重量%或大約 25 重量%至約 55 重量%之微粒煤炭的泥漿 255。此外，來自用以形成該泥漿 255 之該側取出物 562 的 CO_2 可在小於約 0°C 、小於約 -10°C 、小於約 -20°C 或小於約 -30°C 的溫度。在進一步的具體實施例中，來自用以形成該泥漿之該側取出物 562 的 CO_2 可在大約 0°C 至約 -60°C 、大約 -10°C 至約 -50°C 或大約 -18°C 至約 -40°C 的溫度。雖然以使用 CO_2 作爲泥漿介質(slurry medium)來描述泥漿形成步驟，但可了解的是，其他泥漿形成介質(other slurring mediums)可以被使用。

【0065】該泥漿 255 可經由幫浦 270 而從該混合器 250 轉移至燃燒裝置 300。在特定的具體實施例中，該燃燒裝置 300 可以是能夠提供以相對高燃燒溫度大體上/實質上完全燃燒燃料的高效率燃燒器。高溫燃燒可特別有用以提供該燃料之所有可燃成分之大體上/實質上完全的燃燒，且因此最大化效率。在各種具體實施例中，高溫燃燒可意指以至少爲大約 $1,000^{\circ}\text{C}$ 、至少爲

大約 1,200°C、至少為大約 1,500°C、至少為大約 2,000°C 或至少為大約 3,000°C 的溫度燃燒。在進一步的具體實施例中，高溫燃燒可意指在大約 1,000°C 至約 5,000°C 或大約 1,200°C 至約 3,000°C 的溫度燃燒。

【0066】在某些具體實施例中，該燃燒裝置 300 可為蒸散冷卻的燃燒器。可用於本揭露內容中之蒸散冷卻燃燒器的一個範例被描述在美國專利申請公開號第 2010/0300063 號以及美國專利申請公開號第 2011/0083435 中，它們的全部內容被併入於本文中以作為參考。在一些具體實施例中，根據本揭露內容有用的蒸散冷卻燃燒器可包括一或更多的熱交換區域、一或更多的冷卻流體以及一或更多的蒸散流體。

【0067】根據本揭露內容之蒸散冷卻燃燒器的使用在關於用於發電之燃料燃燒的技術領域上是特別有利的。例如，蒸散冷卻的使用可有用以預防該燃燒器中的腐蝕、髒汙以及侵蝕。這更進一步允許該燃燒器以足夠高溫的範圍來工作，以提供或承受得起所使用之該燃料的完全或至少大體上完全的燃燒。這些以及進一步的優勢被進一步描述於本文中。

【0068】在一個特定的方面，根據本揭露內容有用的蒸散冷卻燃燒器可包括至少及/或部分由蒸散構件所定義的燃燒室，其中該蒸散構件被壓力圍阻構件至少部分地包圍。該燃燒室可具有進口部分以及相對的出口部分。該燃燒室的該進口部分可被配置以接收將在該燃燒室內以燃燒溫度燃燒的含碳燃料，以形成燃燒產物。該燃燒室可進一步被配置以引導該燃燒產物朝向該出口部分。該蒸散構件可被配置以引導蒸散物質經由其而朝向該燃燒室，用於緩衝該燃燒產物以及該蒸散構件之間的交互作用。此外，該蒸散物質可被導入至該燃燒室中，以達成想要之該燃燒產物的出口溫度。在特定的具體實施例中，該蒸散物質可至少部分地包含該循環流體。該燃燒室的壁可沿多孔材料層排列，該蒸散物質，例如 CO₂ 及/或 H₂O，經由該多孔材料層被引導以及流動。

【0069】穿過此多孔蒸散層以及可選地穿過額外防備的該蒸散物質流可被配置以達成從該燃燒裝置 300 流出之想要的總流出流體流出口溫度。在一些具體實施例中，如同本文中進一步描述的，這種溫度可在大約 500°C 至

約 2,000°C 的範圍內。此流也可用以將該蒸散構件冷卻至低於形成該蒸散構件之材料的最大可允許操作溫度的溫度。該蒸散物質也可用以預防該燃料中可能侵蝕、弄髒或以其他方式傷害該壁之任何液態或固態灰燼材料或其他污染物(contaminants)的影響。在這種例子中，可能想要的是使用具有合理熱傳導性的蒸散構件材料，以至於入射輻射熱可被輻射狀地朝外傳導穿過該多孔蒸散構件，然後被從該多孔層結構表面至放射線狀朝內穿過該蒸散層之該流體的熱對流傳遞(convective heat transfer)所攔截。這種配置可允許被引導穿過蒸散構件之隨後部分的流被加熱至想要範圍的溫度，例如大約 500°C 至約 1,000°C 或大約 200°C 至約 700°C，同時同步地維持該多孔蒸散構件的溫度在其所使用之材料的設計範圍內。用於該多孔蒸散構件的適合材料可包括，例如，多孔陶瓷、耐火金屬纖維墊、鑽孔的圓柱部分及/或燒結金屬層或燒結金屬粉末。該蒸散構件的第二功能可為確保蒸散流體大體上/實質上均勻放射狀朝內的蒸散流體的流動，以及縱向地沿著該燃燒器，以達成該蒸散流體流以及該燃燒產物之間好的混合，同時促進沿著該燃燒室長度的均勻軸向流(even axial flow)。該蒸散構件的第三功能可為用以達成放射狀朝內的稀釋流體速度，以提供對於該燃燒產物內固態及/或液態灰燼顆粒或其他污染物的緩衝或攔截，避免衝擊該蒸散層的表面以及避免導致阻塞、腐蝕、侵蝕或其他傷害。這種因素可只在當燃燒具有殘餘惰性非可燃殘餘物(residual inert non-combustible residue)的燃料（例如煤炭）時具有重要性。包圍該蒸散構件之該燃燒器壓力容器的內壁也可被隔熱(insulated)，以隔離該燃燒器內的高溫蒸散流體流。

【0070】在某些具體實施例中，可提供混合配置（未描繪）以在這種導入之前結合將被導入至該燃燒裝置 300 中的材料。具體而言，該燃料、O₂ 以及循環流體（例如，CO₂ 循環流體）中的兩種或所有三種的任何組合可在導入至該燃燒裝置 300 之前在該可選的混合配置中結合。

【0071】與該 O₂ 120 以及被回收的循環流體 503 一起導入至該燃燒裝置 300 的該燃料 15（為該泥漿流 255）被燃燒，以提供燃燒產物流 320。在特定的具體實施例中，該燃燒裝置 300 是例如上面所描述的蒸散冷卻燃燒器。燃

燒溫度可取決於特定的處理參數而不同－例如，所使用的燃料類型、被導入至該燃燒器中的該燃料中循環流體比上碳的莫耳比例、及/或被導入至該燃燒器中 CO_2 比上 O_2 的莫耳比例。在特定的具體實施例中，該燃燒溫度是如同上面關於該蒸散冷卻燃燒器的描述中所描述的溫度。在特別較佳的具體實施例中，如本文中所描述的，超過大約 $1,000^\circ\text{C}$ 的燃燒溫度可為有利的。

【0072】 控制燃燒溫度，使得離開該燃燒器的該燃燒產物流具有想要的溫度也可為有用的。例如，離開該燃燒器的該燃燒產物流具有至少為大約 700°C 、至少為大約 900°C 、至少為大約 $1,200^\circ\text{C}$ 或至少為大約 $1,600^\circ\text{C}$ 的溫度可為有用的。在一些具體實施例中，該燃燒產物流可具有大約 700°C 至約 $1,600^\circ\text{C}$ 或大約 $1,000^\circ\text{C}$ 至約 $1,500^\circ\text{C}$ 的溫度。

【0073】 具體而言，該燃燒產物流 320 的壓力可與被導入至該燃燒裝置 300 中之該循環流體的壓力有關。在特定的具體實施例中，該燃燒產物流 320 的壓力可為被導入至該燃燒裝置 300 中之該循環流體壓力的至少大約 90%。

【0074】 離開該燃燒裝置 300 之該燃燒產物流 320 的化學組成(chemical makeup)可取決於所使用的燃料類型而不同。重要的是，該燃燒產物流將包含將被回收(recycled)以及再導入(reintroduced)至該燃燒裝置 300 中或進一步循環之該循環流體(例如， CO_2)的主要成分。在進一步的具體實施例中，該燃燒產物流 320 可包含一或更多的水蒸汽、 SO_2 、 SO_3 、 HCl 、 NO 、 NO_2 、 Hg 、過量的 O_2 、 N_2 、 Ar 、不可燃物及/或其他的微粒物質以及可能可存在於被燃燒之該燃料中的其他污染物。除非被移除掉，例如藉由本文中所描述的過程移除，存在於該燃燒產物流中的這些材料可留存在該 CO_2 循環流體流中。

【0075】 有利的是，根據本揭露內容，該燃燒產物流 320 可被引導至渦輪機 400，而不需先過濾掉在該燃燒產物流 320 中的任何微粒材料。在該渦輪機 400 中，該燃燒產物流 320 被膨脹(expanded)以發電(例如，經由發電機 400a 以產生電)。該渦輪機 400 可具有用於接收該燃燒產物流 320 的進口以及用於釋放渦輪機排出流(turbine discharge stream)410 的出口。雖然單一渦

輪機 400 被顯示在第 1 圖中，但要了解的是，可使用多於一個渦輪機，該多個渦輪機以串聯連接，或可選地被一或更多個另外的組件分開，例如另外的燃燒組件、壓縮組件、分離器組件，或諸如此類。

【0076】具體而言該渦輪機 400 可為具有如同本文中另外描述之葉片設計及/或整體設計的渦輪機。此外，如本文中所描述，該渦輪機可併入/包含蒸散冷卻或其他冷卻技術。特別是，該渦輪機設計可為一種具有這種低葉片速度以及灰燼顆粒影響速度的設計，以至於使該渦輪機能夠容忍影響而沒有顯著的腐蝕(erosion)。該渦輪機的蒸散冷卻進一步可藉由在該葉片表面和穿過該渦輪機的該微粒材料之間產生該蒸散流體的連續流阻礙層(continuous flow barrier layer)，而保護對抗顆粒腐蝕。

【0077】回到第 1 圖，該示範性的系統以及循環進一步包含在該渦輪機 400 下游的過濾器 5。該渦輪機排出流 410 可穿過該過濾器 5，以從其中移除該微粒材料。該渦輪機 400 下游之該過濾器 5 的放置，而非該渦輪機上游的放置，是本揭露內容的有利特徵，因為該燃燒產物流 320 可在離開該燃燒器裝置 300 時的當下馬上在該較高的溫度以及壓力下被膨脹而越過該渦輪機，因此發電可被最大化。該較低的壓力以及較冷的渦輪機排出流 410 然後可在該過濾器 5 中被過濾，以從其中移除該微粒材料而作為微粒流 7。用於該燃燒循環中的進一步處理，該已過濾的渦輪機排出流 420 因此被提供為大體上/實質上不具有微粒材料。

【0078】在特定的具體實施例中，該過濾器 5 較佳可包含有效用於大體上移除存在於該燃燒產物流 320 中之所有該微粒材料的配置。在一些具體實施例中，該過濾器 5 可包含旋風過濾器及/或燭形過濾器，以及在一些具體實施例中，過濾可發生在大約 300°C 至約 775°C。在特定的具體實施例中，大體上/實質上移除所有的該微粒可包含移除存在於該燃燒產物流中至少 95%、至少 96%、至少 97%、至少 98%、至少 99%、至少 99.5% 或至少 99.8% 體積的該微粒。該過濾器的這種微粒移除效率與顆粒大小有關。例如，所提及的顆粒移除百分比(percentage of particles removed)可與該過濾器留住具有至少為大約 0.1 μm 、至少為大約 0.5 μm 、至少為大約 1 μm 、至少為大

約 5 μm 、至少為大約 10 μm 、至少為大約 25 μm 、至少為大約 50 μm 、至少為大約 100 μm 或至少為大約 500 μm 之直徑顆粒的能力有關。在一個具體實施例中，藉由燃燒所產生的顆粒可在大約 0.1 μm 至約 100 μm 的範圍中，以及該過濾器可被配置以大體上/實質上移除大約 1 μm 以上、大約 5 μm 以上、大約 10 μm 以上、大約 15 μm 以上或大約 20 μm 以上的所有顆粒，並將該總微粒程度降低至小於約 10 mg/m^3 、小於約 5 mg/m^3 、小於約 1 mg/m^3 或小於約 0.5 mg/m^3 。

【0079】在特定的具體實施例中（即，其中使用 CO_2 作為循環流體），該已過濾的渦輪機排出流 420 可穿過熱交換器單元 500（其可為串聯的多個熱交換器），以形成未處理的回收流(recycle stream)501。此未處理的回收流 501 可穿過冷水熱交換器 520，以形成流 521，其穿過分離器 540 以移除次要成分（例如， H_2O 、 SO_2 、 SO_4 、 NO_2 、 NO_3 以及 Hg ）而作為流 542。在特定的具體實施例中，該分離器 540 可包含反應器，該反應器提供了具有足夠停留次數(residence times)的接觸器，使得該雜質可與水反應，以形成容易移除的材料（例如，酸）。來自該分離器 540 的被純化循環流體流 541 可穿過壓縮機 550，以形成流 551，其可被進一步以冷水熱交換器 560 冷卻，以提供超臨界、高密度的 CO_2 循環流體 561。在某些具體實施例中，該純化 CO_2 循環流體 541 可被壓縮成至少為大約 7.5 MPa 或至少為大約 8 MPa 的壓力。一部分的流 561 可被提取作為流 562，用於作為該混合器 250 中的該流體化介質(fluidizing medium)，以形成該泥漿流 255。該超臨界、高密度的 CO_2 循環流體流 561 另外在壓縮機 570 中被加壓，以形成被加壓的、超臨界、高密度的 CO_2 循環流體流 571。流 571 中一部分的 CO_2 可被提取而作為至 CO_2 管線或其他隔離裝置的流 572。該 CO_2 的剩餘部分繼續作為被加壓的、超臨界、高密度 CO_2 循環流體流 573，其可回去通過該熱交換器 500（或串聯的多個熱交換器）以加熱該流。在特定的具體實施例中，在從該冷水熱交換器 560 排出之後（以及在穿過該熱交換器單元 500 用於加熱之前），該 CO_2 循環流體可以至少為大約 200 kg/m^3 、至少為大約 300 kg/m^3 、至少為大約 500 kg/m^3 、至少為大約 750 kg/m^3 或至少為大約 1,000 kg/m^3 的密度而被

提供。在進一步的具體實施例中，該密度可為大約 150 kg/m^3 至約 $1,100 \text{ kg/m}^3$ 。該流 551 穿過該冷水熱交換器 560 可將該 CO_2 循環流體冷卻至小於約 60°C 、小於約 50°C 或小於約 30°C 的溫度。進入該第二壓縮機 570 之流 561 中的 CO_2 循環流體可以至少為大約 12 MPa 的壓力而被提供。在一些具體實施例中，該流可被加壓至大約 15 MPa 至約 50 MPa 的壓力。能夠在所提及溫度下工作以及能夠達成所描述壓力的任何類型壓縮機可以被使用，例如高壓多階段幫浦。

【0080】該已加熱的、加壓的、超臨界、高密度的 CO_2 循環流體可離開該熱交換器 500，而作為將被提供為該被回收循環流體的第一流 503。在一些具體實施例中，該已加熱的、加壓的、超臨界、高密度的 CO_2 循環流體可離開該熱交換器 500，而作為將被提供為用於該渦輪機葉片之蒸散流體的第二被回收循環流體流 504。較佳地，該第二被回收循環流體流 504 可為可控制的，使得該流中循環流體的總質量或體積可被增加或減少，因為需求需要增加或減少該蒸散流體所提供的保護。具體而言，根據本揭露內容的系統可包括流控制裝置，使得當想要時，該第二被回收的循環流體流 504 可被完全停止。

【0081】要注意的是，在一些具體實施例中，被提供至該渦輪機 400 的被回收的循環流體（例如， CO_2 ）可在被提供至該渦輪機之前繞過該熱交換器 500。就這一點而言，該被回收的 CO_2 可藉由該壓縮機 570 壓縮，然後一部分的循環流體流 571 可繞過該熱交換器 500，並進入該渦輪機 400。從而 CO_2 （或其他的被回收循環流體）可被導入至該渦輪機 400 中而不被該熱交換器 500 加溫。因此，該 CO_2 （或其他的被回收循環流體）可以在低於被該熱交換器加溫之流體溫度的溫度下被導入至該渦輪機中。就這一點而言，該 CO_2 （或其他的被回收循環流體）可以在小於約 300°C 、小於約 200°C 、小於約 100°C 、小於約 55°C 或小於約 25°C 的溫度下被導入至該渦輪機中，因此，該 CO_2 （或其他的被回收循環流體）可用以冷卻該渦輪機 400。為了補償將相對較冷的循環流體加至該渦輪機 400 中， O_2 可移動穿過該熱交換器 500，以加溫該 O_2 ，然後該 O_2 可與被引導至該燃燒器 300 的該被回

收循環流體 503 結合，以補償可能另外發生的效率損失。在某些具體實施例中，離開該熱交換器（或當使用兩個或更多個熱交換器時，在該串聯中最後的熱交換器）的冷端的循環流體可具有小於約 200°C、小於約 100°C、小於約 75°C 或小於約 40°C 的溫度。

【0082】在某些具體實施例中，因此接收該渦輪機排出流的該熱交換器以高性能材料被形成能是有用的，該高性能材料被設計用以禁得起極端的條件。例如，該熱交換器可包含 INCONEL[®] 合金或類似的材料。較佳地，該熱交換器包含能夠禁得起至少為大約 700°C、至少為大約 900°C 或至少為大約 1,200°C 之一致工作溫度的材料。一或更多的該熱交換器包含提供對該類型的次要材料具有好的化學抗性的材料也能是有用的，該類型的次要材料可存在於該燃燒產物流中。INCONEL[®] 合金可得於 Special Metals Corporation，以及一些具體實施例可包括奧氏體鎳-鉻為基礎的合金 (austenitic nickel-chromium-based alloys)。適合的熱交換器可包括以該商標名稱 HEATRIC[®] 而可得的熱交換器（可得於 Meggitt USA, Houston, TX）。

【0083】如上所提及，除了水之外，該 CO₂ 循環流體可含有其他的次要成分，例如燃料衍生的、燃燒衍生的以及氧衍生的雜質。該 CO₂ 循環流體的這些次要成分（常被視為雜質或污染物）可使用適當的方法（例如，在美國專利申請公開案第 2008/0226515 號以及歐洲專利申請案第 EP1952874 以及 EP1953486 號中所定義的方法，它們的全部內容被併入於本文中以作為參考）而全從該冷卻的 CO₂ 循環流體中移除。例如，SO₂ 以及 SO₃ 可被 100% 轉變成硫酸，而 >95% 的 NO 以及 NO₂ 可被轉變成硝酸。存在於該 CO₂ 循環流體中任何過量的 O₂ 可被分離為被富含的流(enriched stream)而可選地回收至該燃燒器。任何存在的惰性氣體（例如，N₂ 以及 Ar）可在低壓下排放至大氣中。

【0084】如上所描述的，併入/包含根據本揭露內容配置之渦輪機的發電循環在某種程度上/部分地(in part)可高效率地操作，因為該燃燒產物流（例如，由燃燒固體燃料，例如煤炭，所引起）可被直接輸入至該渦輪機中，而不需要先過濾掉存在於該燃燒產物流中的微粒材料。特別是，該具創造

性的渦輪機配置消除了或大大降低了由非燃燒材料之影響所引起的葉片腐蝕。即使本揭露內容提供了這種該渦輪機材料的珍貴保護，仍有由該渦輪機組件與該燃燒產物流之該微粒組件之間的交互作用所引起之渦輪機損傷的機會。

【0085】例如，黏在以及凝固在（或固化在）該渦輪機葉片上的液體灰燼可導致爐渣形成、效率的損失及/或轉子平衡的喪失。因此，在某些具體實施例中，本揭露內容提供將特定的組件併入燃燒循環中，用於從渦輪機組件（特別是渦輪機葉片）減輕及/或至少部分地移除集結物(buildup)或化學沉積物。雖然在本文中以灰燼集結物作為例子，但要了解的是，將預期由本揭露內容之具體實施例提供的清洗對於至少部分移除或完全移除該渦輪機組件上任何類型的沉積物是有效的，該沉積物是由存在於該燃燒產物流中的材料所引起，特別是微粒材料。因此，各種類型的灰燼、灰燼衍生材料以及碳可藉由本文中所提供的清洗而被移除。

【0086】在渦輪機組件（例如渦輪機葉片）上化學沉積物的集結可藉由利用蒸散保護技術而預防。例如，如第 1 圖中所見，熱的被回收工作流體（例如， CO_2 ）可從該熱交換器 500 的熱端被提取而作為流 504，並運送至該渦輪機 400。例如，該熱的被回收工作流體可被運送至該渦輪機轉子，然後穿過該渦輪機葉片以提供該渦輪機葉片的蒸散保護。在這種具體實施例中，當需要時，可將該渦輪機葉片穿孔，以至於熱的被回收工作流體大體上/實質上沿著該葉片的整個表面或至少沿著該葉片的前緣表面(leading surface)而離開該葉片，該前緣表面是在該燃燒產物流進入該渦輪機的直接路徑。在特定的具體實施例中，離開該葉片之蒸散流體的最大流將在該葉片的前緣(leading edge)。

【0087】可以各種溫度提供該蒸散流體。在一些具體實施例中，用於該渦輪機的該蒸散流體可為進入該渦輪機之該燃燒產物流的溫度的大約 10% 內、大約 8% 內、大約 5% 內或大約 2% 內的溫度。在這種具體實施例中，用於該渦輪機之該蒸散流體的溫度的特徵可為大體上/實質上類似於進入該渦輪機之該燃燒產物流的溫度。在其他的具體實施例中，被引導至該渦輪機

用於蒸散保護的蒸散流體可比進入該渦輪機之該燃燒產物流的溫度低 15% 至約 90%、低大約 15%至約 60%、低大約 15%至約 50%或低大約 20%至約 40%。在這種具體實施例中，用於該渦輪機之該蒸散流體的溫度的特徵可為大體上/實質上低於進入該渦輪機之該燃燒產物流的溫度。

【0088】 在一些具體實施例中，以該渦輪機葉片使用該蒸散流體可實行多個功能。例如，該蒸散流體可有效用於保護該渦輪機葉片，因為其可實質上預防該燃燒產物流中的微粒材料實際接觸到該葉片表面。更確切而言，由該蒸散流體形成的保護性障礙可使該渦輪機葉片周圍的微粒材料轉向或再引導該微粒材料。該熱的被回收工作流體也可作用以加熱該葉片，特別是在該渦輪機出口側上的葉片表面。此額外的加熱可預防該葉片表面，在該出口側及/或在該進口側上，冷卻至其中液體灰燼（或在該燃燒產物流溫度為液體以及具有凝固（或固化）點低於該燃燒產物流溫度但大於室溫的其他材料）將固化的溫度（即，該材料的凝固溫度）。此預防實際接觸該渦輪機葉片表面的該液體顆粒凝固（或固化），並因此沉積在該葉片表面上。

【0089】 在一些具體實施例中，蒸散保護可消除顆粒凝固（或固化）。就這一點而言，在一些具體實施例中，所有的灰燼在接近 870°C - 980°C 之上可維持熔化。在其他的具體實施例中，相對於沒有併入/包含蒸散保護的相同循環以及系統，顆粒凝固可被減少。對於顆粒凝固被降低但未消除的範圍，該渦輪機組件週期性的清洗可能是必要的。在特定的具體實施例中，渦輪機組件（例如渦輪機葉片）的清洗可經由將清洗組件併入至燃燒循環或系統中實現。

【0090】 第 2 圖中所示的循環描繪了其中渦輪機葉片清洗材料可被引導穿過該渦輪機以實施該渦輪機葉片之清洗的系統。有利的是，該清洗材料可與該燃燒產物流同時被引導穿過該渦輪機。因此，可實施清洗而不中斷該發電燃燒循環。在一些具體實施例中，可能想要改變一或更多個本文中所討論的循環參數，以幫助該清洗過程（例如，改變該燃燒產物流的溫度、增加回收流體比上燃料的比例或諸如此類）。在其中該渦輪機葉片被蒸散保護的具體實施例中，可能想要停止該蒸散流體流，以幫助該清洗材料與該

渦輪機葉片的接觸。然而，在該清洗過程期間，燃燒以及發電可繼續。

【0091】參見第 2 圖，燃燒循環可大體上如同上述關於第 1 圖而繼續進行。然而，在本具體實施例中，第三被回收循環流體流 506 可離開該熱交換器 500，並穿過清洗材料匯合點 600，其中該清洗材料與該第三被回收循環流體流 506 結合，以形成該清洗材料流 610。該清洗材料匯合點 600 可包含適合用於結合該第三被回收循環流體流 506 與該清洗材料的任何結構、單元或裝置，其中該清洗材料以連續的流被提供或以批次方式被提供。較佳地，該清洗材料匯合點被配置，使得該清洗材料與該第三被回收循環流體流 506 結合並與該第三被回收的循環流體流 506 一起流動。也如同上面關於該第二被回收循環流體流 504 所描述，該第三被回收循環流體流 506 可被控制，使得該流速可為零或可為將該清洗材料有效轉移至該渦輪機所需的任何速率。

【0092】該清洗材料可為有效接觸該渦輪機葉片表面並從其中物理地或化學地移除固體沉積物的任何材料。較佳地，該清洗材料包含有效用以移除該沉積物材料且具有最小腐蝕至不腐蝕該葉片表面本身的材料。固體清洗材料可包括碳顆粒、氧化鋁顆粒或被配置以不在該流溫度下熔化的其他硬顆粒。灰燼的腐蝕但非該葉片的腐蝕可能在低衝擊速度發生，因為該灰燼比該葉片可定義較低的斷裂強度。液體清洗材料可包括鉀化合物，例如氧化鉀、碳酸鉀或氫氧化鉀。該鉀化合物可作為助熔劑以降低該灰燼的熔點，所以其可能會熔化該葉片。氣體清洗材料可包括氧，其可氧化沉積物，例如碳。在該清洗材料匯合點 600 與該第三被回收循環流體流 506 結合的固體或液體清洗材料可定義該清洗材料流 610 之總質量流速的小於約 0.5%、小於約 0.1%或小於約 0.01%，以及該清洗材料流之總質量流速的大約 0.001%至約 0.1%、大約 0.1%至約 1%或大約 0.0001%至約 0.01%。在該清洗材料匯合點 600 與該第三被回收循環流體流 506 結合的氣體清洗材料可定義該清洗材料流 610 之總質量流速的小於約 5%、小於約 2%或小於約 1%，以及該清洗材料流之總質量流速的大約 0.1%至約 2%、大約 0.01%至約 1%或大約 0.01%至約 5%。在一個具體實施例中，每當該發電機 400a 所

輸出的功率下降從大約 2%至約 5%、從大約 5%至約 10%或從大約 1%至約 2%時，可起始該清洗循環。例如，可大約每週一次至每三年一次而實施該清洗操作。在一些具體實施例中，該清洗循環可持續大約五分鐘至約一個小時。

【0093】該清洗材料流 610 可直接流入該渦輪機 400 中。在這種具體實施例中，該清洗材料流可與該燃燒產物流 320 在該渦輪機 400 的共同進口處混合，或該清洗材料流 610 以及燃燒產物流 320 可具有進入該渦輪機的個別進口，使得該些流在該渦輪機 400 內部的一個點混合。在所描繪的具體實施例中，該清洗材料流 610 是先與該燃燒產物流 320 在流結合器開關 650 中混合。因此，在清洗循環中，所結合的燃燒產物以及清洗材料流(combined combustion product and cleaning material stream)326 離開該流結合器開關 650，並進入該渦輪機 400。

【0094】在一些具體實施例中，連續的清洗可以被使用，其中該第三被回收循環流體流 506 的一些最小流可以被維持，使得大量的清洗材料被連續導入至該渦輪機中。該第三被回收循環流體流 506 的流動可被週期性地往上或往下調整，以增加或降低該循環的清洗能力。在其他的具體實施例中，該第三被回收循環流體流 506 可被關閉，以使沒有清洗材料從該清洗材料匯合點 600 通過而進入該流結合器開關 650。在此操作模式中，如同第 1 圖中所描繪，該燃燒產物流 320 可繞過該流結合器開關 650，並通過而直接進入該渦輪機。或者，該燃燒產物流 320 可繼續流經該結合器開關 650，但在進入缺少清洗材料流 610 的情況下，離開該結合器開關 650 的流將必定是該燃燒產物流 320，且非所結合的燃燒產物以及清洗材料流 326。

【0095】在其中該清洗循環是活化的具體實施例中，從該渦輪機葉片移除的沉積物或剩餘物可經由該過濾器 5 而以關於第 1 圖所描述的方式從該循環中被移除。同樣地，當使用固體清洗材料時，該固體清洗材料可經由該過濾器 5 而從該循環中被移除。在一些具體實施例中，該過濾器 5 可為多單元過濾器，其中第一過濾器介質或單元在該燃燒循環的正常程序中被使用，以及第二過濾器介質或單元可在該清洗循環期間被使用，以收集該清

洗材料以及所移除的葉片沉積物而不必要地弄髒在正常燃燒循環中使用的過濾器。該具創造性的系統可併入適當的裝置以幫助過濾器之間的這種切換。

【0096】範例具體實施例

【0097】本揭露內容現在將以特定地參照下述範例而描述，下述範例不意欲限制本揭露內容，且是提供用以示出示範性的具體實施例。

【0098】第 3 圖描繪了燃燒器 1000 的範例具體實施例，該燃燒器 1000 可依照本文中所揭露的系統以及方法使用。該燃燒器 1000 可定義燃燒室 1002，燃料以及 O_2 經由燃料進口 1004 以及 O_2 進口 1006 而被引導至燃燒室 1002。因此，該燃料可被燃燒，以形成燃燒產物流 1008。該燃燒器 1000 可包含殼，該殼包含外殼 1010 以及內殼 1012。該內殼 1012 可包含蒸散材料，例如被配置以接收蒸散流體 1014 以及經由其來散發(transpire)流體的多孔燒結材料（例如，多孔燒結金屬材料），以定義被配置以降低該殼上熱入射的蒸散層(transpiration layer)1016。在一些具體實施例中，該蒸散流體 1014 可經由進口 1026 而被接收，雖然如下面所描述，在一些具體實施例中，該蒸散流體可從附接至該燃燒器的渦輪機而被接收。因此，該燃燒器 1000 可被配置以禁得起該燃燒室 1002 中所產生的熱，而不利用昂貴的耐熱材料，例如超合金，及/或該燃燒器可在增加的燃燒溫度下操作。

【0099】如上面所描述，燃燒器所產生的該燃燒產物流可用以驅動渦輪機。就這一點而言，第 4 圖描繪了渦輪機 2000 的範例具體實施例。在一個具體實施例中，該渦輪機 2000 可包括被配置以耦合至燃燒器（例如，燃燒器 1000）出口並將燃燒產物流（例如，燃燒產物流 1008）引導至該渦輪機之殼 2004 進口的進口導管 2002。該渦輪機 2000 可包含轉子 2006，多個葉片 2008 附接至該轉子 2006。該轉子 2006 可包含被配置以使繞著該轉子的該燃燒產物流轉向的環形分流器(annular flow diverter)2010。因此，當移動穿過該渦輪機 2000 時，該燃燒產物流 1008 可被膨脹，從而在渦輪機排出流 2012 在經由一或更多的出口 2014 排出之前導致該葉片 2008 旋轉該轉子 2006 以及動力軸 2011（其可與該轉子整合或耦合至該轉子）。因此，該渦輪機 2000 可

驅動發電機或其他裝置。

【0100】如同第 4 圖中進一步描繪，該進口導管 2002 可包含內殼 2016 以及外殼 2018。此外，該渦輪機 2000 的該殼 2004 可包含內殼 2020 以及外殼 2022。蒸散流體 2024 可從進口 2026 被引導至該進口導管 2002 以及該渦輪機 2000 的該內殼 2016、2020 以及該外殼 2018、2022 之間。該內殼 2016、2020 可包含蒸散材料，例如被配置以接收該蒸散流體 2024 以及經由其來散發該流體的多孔燒結材料（例如，多孔燒結金屬材料）。從而蒸散層 2028 可被定義在該燃燒產物流 1008 以及該進口導管 2002 的內部表面之間，以及蒸散層 2030 可被定義在該葉片 2008 以及該內殼 2020 的內部表面之間，以及該內殼可被冷卻或被該蒸散流體 2024 以其他方式保護。在一些具體實施例中，被提供至該渦輪機的該蒸散流體也可被提供至該燃燒器用於蒸散冷卻。就這一點而言，例如，在一些具體實施例中，該進口導管可嚙合(mate)至該燃燒器，使得該蒸散流體被提供至該燃燒器。然而，在一些具體實施例中，被提供至該燃燒器的蒸散流體可額外地或替代地從分開的進口 1026 被提供。

【0101】此外，蒸散流體 2024 也可經由第二進口 2032 而被導入至該渦輪機 2000 中，在一些具體實施例中，該第二進口 2032 可被定義在該動力軸 2011 中。因此，該蒸散流體 2024 可移動穿過該動力軸 2011 進入該轉子 2006。該轉子 2006 及/或該葉片 2008 可包含蒸散材料，例如被配置以接收該蒸散流體 2024 以及經由其將該流體散發至其外表面的多孔燒結材料（例如，多孔燒結金屬材料）。因此，該轉子 2006 及/或該葉片 2008 可被冷卻或被該蒸散流體 2024 以其他方式保護以避免該燃燒產物流 1008 以及其中之微粒的傷害。

【0102】第 5 以及 6 圖描繪了渦輪機 2000' 的替代性具體實施例。如同所描繪，多個燃燒器 1000' 可被配置以驅動該渦輪機 2000'。特別是，該燃燒器 2000' 可關於該轉子 2006' 所定義的主軸而被放射狀配置，如同第 6 圖中描繪。如第 5 圖中所示，除了該燃燒器 1000' 可供應繞著該轉子 2006' 的周邊的燃燒產物流 1008' 之外，該渦輪機 2000' 大體上/實值上可類似於

第 4 圖中所描繪的該渦輪機 2000 之具體實施例。因此，環形分流器可不需將該燃燒產物流 1008' 轉向繞著該轉子 2006'。除了該燃燒器繞著該轉子 2006' 放置之外，每個該燃燒器 1000' 可大體上類似於上述的燃燒器 1000。

【0103】第 7 圖描繪了穿過渦輪機葉片 2008A 之具體實施例的橫向截面圖，該渦輪機葉片 2008A 可在本文中所揭露的渦輪機中被使用。該渦輪機葉片 2008A 可包含外層 3002 以及核心 3004。該核心 3004 可定義(define)被配置作為加強構件的相對堅固的金屬或其他材料。如同本文中所使用的，堅固的金屬意指在適當被提升的溫度下具有強度大於約 10,000 PSI、大於約 20,000 PSI 或大於約 30,000 PSI，且其在適當的溫度下具化學抗性。範例包括不銹鋼合金以及高鎳合金，例如英高鎳 (Inconel) 等等。因此，本揭露內容允許使用較低成本的合金，例如不銹鋼（例如，316 不銹鋼）或其他具有較低鎳與鈷含量的合金，而非使用具有相對非常高的鎳與鈷含量且因此非常昂貴的典型超合金。就這一點而言，比起多晶的超合金，多晶的 316 不銹鋼每磅可便宜多至二十倍，以及比起單晶超合金葉片，其每磅可便宜兩千倍。

【0104】此外，該核心 3004 可定義一或更多的通道 3006。該通道 3006 可被配置以接收蒸散流體以及將該蒸散流體引導至該外層 3002 中。在一些具體實施例中，該外層 3002 可定義該葉片 2008A 之外部表面 3008 的一部分或全部。此外，該外層 3002 可包含多孔材料，例如多孔燒結金屬材料。因此，該核心 3004 中的該通道 3006 可被配置以接收蒸散流體以及將該蒸散流體引導至該外層 3002 中。因此，該蒸散流體可流通過該渦輪機葉片 2008A 的該外層 3002，並在該渦輪機葉片的該外部表面 3008 周圍提供蒸散層，其可保護該渦輪機葉片避免熱及/或微粒的衝擊。就這一點而言，應了解的是，本文中所揭露的系統的渦輪機葉片及/或其他組件可被蒸散保護，意指蒸散流體被引導至至少一部分的其表面，不管該蒸散是否冷卻該組件。例如，組件可被蒸散流體蒸散保護，該蒸散流體保護該組件的表面以避免微粒或其他物質的衝擊，不管該蒸散流體的溫度。相反地，組件可被蒸散流體額外地或替代地蒸散保護，該蒸散流體冷卻該組件或作為降低該組件加熱的

障礙。

【0105】如上面所描述，蒸散流體可額外地或替代地被利用於與本文中所描述之該系統以及組合相關的其他組件中。就這一點而言，第 8 圖描繪了穿過一部分的進口導管 2002A 的截面圖，該進口導管 2002A 被配置以將燃燒產物流從燃燒器運送至渦輪機。該進口導管 2002A 可包含內層 4002 以及外層 4004。該外層 4004 可包含被配置以提供強度至該進口導管 2002A 的殼體，其可包含如上所述的堅固金屬。此外，該外層 4004 可定義一或更多的通道 4006。該通道 4006 可被配置以接收蒸散流體，並將該蒸散流體引導至該內層 4002 中。在一些具體實施例中，該內層 4002 可定義該進口導管 2002A 之內部表面 4008 的一部分或全部。此外，該內層 4002 可包含多孔材料，例如多孔燒結金屬材料。因此，該外層 4004 中的該通道 4006 可被配置以接收蒸散流體以及將該蒸散流體引導至該內層 4002 中。因此，該蒸散流體可流通過該進口導管 2002A 的該內層 4002，以及在該進口導管的該內部表面 4008 提供蒸散層，其可保護該進口導管避免熱及/或微粒的衝擊。

【0106】如第 9 圖中所描繪的，在進口導管 2002B 的一個具體實施例中，絕緣層 4010 以及第二外層 4012 可以額外地被提供。在一些具體實施例中，該絕緣層 4010 以及該第二外層 4012 可圍繞該內層 4002 以及該外層 4004。該絕緣層 4010 可絕緣該進口導管 2002B，以保留更多的熱於其中，其可增加其於其中被利用之系統的效率。此外，該第二外層 4012 可提供額外的強度給該進口導管 2002B。然而，上面描述的該各種材料層以及特徵可額外地或替代地被用於本文中所描述之系統以及組合的其他組件中，例如在燃燒器中。

【0107】第 10 圖描繪了穿過依照替代性具體實施例之渦輪機葉片 2008B 的縱向截面圖。渦輪機葉片 2008B 可包含一或更多的加強構件，例如一或更多的桿子 5014。該桿子 5014 可包含被配置以提供強度給該渦輪機葉片 2008B 的金屬材料或其他材料。

【0108】該渦輪機葉片 2008B 更可定義一或更多的通道 5006。該通道 5006 可被配置以接收蒸散流體以及將該蒸散流體引導至定義該渦輪機葉片

2008B 的材料中。就這一點而言，該渦輪機葉片 2008B 可包含多孔材料，例如多孔燒結金屬材料。因此，該渦輪機葉片 2008B 中的該通道 5006 可被配置以接收蒸散流體以及引導該蒸散流體穿過該渦輪機葉片，以在該渦輪機葉片的外表面 5008 提供蒸散層，其可保護該渦輪機葉片避免熱及/或微粒的衝擊。

【0109】 在一些具體實施例中，該渦輪機葉片 2008B 可被配置以定義在該渦輪機葉片前緣 5016 的蒸散流體流，在該渦輪機葉片前緣 5016 的蒸散流體流大於在該渦輪機葉片後緣(trailing edge)5018 的蒸散流體流。這可提供該前緣較大的保護，其可能是想要的，因為比起該渦輪機葉片的其餘部分，該前緣可更傾向被顆粒衝擊。就這一點而言，該渦輪機葉片 2008B 中一或更多的通道 5006 可在該前緣 5016 定義蒸散流體進口區域（見，例如，通道 5006A），在該前緣 5016 的蒸散流體進口區域大於該後緣 5018 之一或更多的通道的蒸散流體進口區域（見，例如，通道 5006B）。或者，比起在該後緣，可在該前緣定義較大數量的通道。

【0110】 第 11-13 圖描繪了渦輪機葉片 2008C 的替代具體實施例。如同所描繪的，該渦輪機葉片 2008C 可定義包含一或更多個內肋(internal ribs)6020 的整體結構。該內肋 6020 可作用為被配置以提供強度給該渦輪機葉片 2008C 的加強構件。該內肋 6020 可與該渦輪機葉片 2008C 的外層 6002 及/或基部構件 6022 整體地被形成/一體成型。

【0111】 該渦輪機葉片 2008C 可包括可被該內肋 6020 分開的一或更多個通道 6006。該通道 6006 可被配置以接收蒸散流體（例如，從轉子，該基部構件 6022 附接至該轉子）以及引導該蒸散流體穿過該外層 6002。就這一點而言，該渦輪機葉片 2008C 可包含多孔材料，例如多孔燒結金屬材料。因此，該渦輪機葉片 2008C 中的該通道 6006 可被配置以接收蒸散流體以及引導該蒸散流體穿過該渦輪機葉片的該外層 6002，以在該渦輪機葉片的外表面 6008 提供蒸散層，其可保護該渦輪機葉片避免熱及/或微粒的衝擊。如同進一步描繪的，該渦輪機葉片 2008C 中的該通道 6006 可定義在該前緣 6016 的蒸散流體進口區域（見，例如，通道 6006A），其大於在該後緣 6018 之

一或更多個通道的蒸散流體進口區域（見，例如，通道 6006B）。因此，在一些具體實施例中，該渦輪機葉片 2008C 可被配置以定義在該渦輪機葉片前緣 6016 的蒸散流體流，其大於在該渦輪機葉片後緣 6018 的蒸散流體流。

【0112】第 14 圖描繪了穿過渦輪機葉片 2008D 之額外具體實施例的橫截面圖。如同所描繪的，該渦輪機葉片 2008D 可包含外層 7002，該外層 7002 定義在該後緣 7018 的壁厚度，其大於在該前緣 7016 的壁厚度。就這一點而言，該渦輪機葉片 2008D 可包含孔材料，例如多孔燒結金屬材料。因此，蒸散流體可被引導穿過該渦輪機葉片 2008D，使得其移動穿過該外層 7002，以在該渦輪機葉片的外表面 7008 提供蒸散層，其可保護該渦輪機葉片避免熱及/或微粒的衝擊。由於該外層 7002 該後緣 7018 的壁厚度大於在該前緣 7016 的壁厚度，該渦輪機葉片 2008D 可定義在該前緣的蒸散流體流大於在該後緣的蒸散流體流。

【0113】此外，依照本文中所揭露的各種具體實施例，該渦輪機葉片可定義在渦輪機葉片根部以及尖端之間不同的多孔性(porosity)（見，例如，第 13 圖中所描繪之該渦輪機葉片 2008C 的該根部 6026 以及尖端 6028）。就這一點而言，在一些具體實施例中，本文中所揭露的該渦輪機葉片可被配置以定義在該渦輪機葉片尖端的蒸散流體流，在該渦輪機葉片尖端的蒸散流體流大於在該渦輪機葉片根部的蒸散流體流。這可提供該渦輪機葉片額外的保護，其可能為想要的，因為比起該渦輪機葉片上任何其他的點，該渦輪機葉片的尖端以較高的速度移動。

【0114】例如，第 15A 圖示意性地描繪了穿過渦輪機葉片 2008E 的縱向截面圖。如同所描繪的，該渦輪機葉片 2008E 定義了在該根部 8026 以及該尖端 8028 之間不同的多孔性。特別是，該渦輪機葉片 2008E 在該尖端 8028 比該根部 8026 多孔，使得比起該渦輪機葉片的該根部，相對較多的蒸散流體可流出該渦輪機葉片的該尖端。就這一點而言，該渦輪機葉片 2008E 可包含多孔材料，如同上述所討論的，例如被配置以經由其來散發蒸散流體的多孔燒結金屬材料。如同所描繪的，在一些具體實施例中，該多孔材料可定義多個層 8030A-D，其中該層的多孔性從根部至尖端增加。該層

8030A-D 可被不同的材料或被相同的材料定義，其已被燒結成各種程度，因此其多孔性不同。在一些具體實施例中，該層可被一起壓層(laminated together)，雖然該層可以各種其他的方式貼附。

【0115】在另一個具體實施例中，如同第 15B 圖中所描繪，如同上面關於第 15B 圖的描述，該渦輪機葉片 2008E' 定義了在該根部 8026' 以及該尖端 8028' 之間不同的多孔性。然而，如同所描繪的，在一些具體實施例中，該多孔材料可定義多孔性梯度，其中，例如，該材料的多孔性從該 8026' 至該尖端 8028' 增加。就這一點而言，在一些具體實施例中，該材料的多孔性可在各種位改變，而沒有定義不同多孔性之明顯的層。

【0116】用於該渦輪機葉片的各種其他配置可以被使用。例如，在一些具體實施例中，該渦輪機葉片可被配置以定義在該前緣的蒸散流體流，在該前緣的蒸散流體流大體上/實質上等於或小於在該渦輪機葉片後緣的蒸散流體流。此外，在一些具體實施例中，該渦輪機葉片可被配置以定義在該尖端的蒸散流體流，在該尖端的蒸散流體流大體上/實質上等於或小於在該渦輪機葉片根部的蒸散流體流。此外，該前緣以及後緣之間多孔性的不同也可以如同關於用以控制該根部以及尖端之間之蒸散流的類似方式來被使用以控制流出該葉片的蒸散流體流。

【0117】因此，例如，定義該渦輪機葉片（或其他的組件）之該材料的多孔性可在該根部以及尖端之間增加、在該根部以及尖端之間減少、相對於該葉片的外部在該中心中相對較高或較低、從該前緣至該後緣增加或減少，等等。該多孔性梯度或多孔性層可從大約 10% 多孔性至約 90% 多孔性、大約 25% 多孔性至約 75% 多孔性或大約 1% 多孔性至約 25% 多孔性而增加或減少。

【0118】因此，蒸散流體可被配置以冷卻及/或以其他方式保護本文中所揭露之該系統以及組合的各種組件。就這一點而言，第 16 圖描繪了相對於渦輪機葉片 906 之外表面 904 的 100 μm 灰燼顆粒 902 之計算過的軌跡 900。該灰燼顆粒軌跡 900 基於該灰燼顆粒 902 以 75 m/s 朝向該渦輪機葉片 906 初始移動而做出模型，該渦輪機葉片 906 具有以 2 m/s 從該渦輪機葉片外表

面 904 散發的 CO_2 蒸散流體 908 流。該渦輪機中的循環流體可在 300 巴 (30MPa) 以及 700°C 。如同所描繪的，該蒸散流體 908 預防該灰燼顆粒 902 與該渦輪機葉片 906 接觸。特別是，該灰燼顆粒 902 被計算大約 0.2 mm 來自該渦輪機葉片的該外表面 904。因此，該渦輪機葉片 906 的腐蝕可被避免。

【0119】同樣地，第 17 圖描繪了相對於燃燒器 1006 之內部表面 1004 的 50 μm 灰燼顆粒 1002 之計算過顆粒軌跡 1000 的根據本揭露內容的一個範例。該灰燼顆粒軌跡 1000 基於該灰燼顆粒 1002 以 50 m/秒速度垂直於該燃燒器 1006 之該內部表面 1004 初始移動而做出模型，該燃燒器 1006 具有大約每秒三公尺之該燃燒氣體的軸向流速、超過大約 90% 之 CO_2 的燃燒氣體組成物、大約 $1,500^\circ\text{C}$ 的燃燒氣體溫度、大約 300 巴 (30 MPa) 的壓力以及在放射狀方向大約每秒一公尺的該蒸散流體 1008 的放射狀蒸散流速，(例如，垂直於該軸向燃燒氣體流)。如同所描繪的，該蒸散流體 1008 預防該灰燼顆粒 1002 與該燃燒器 1006 的該內部表面 1004 接觸。該灰燼顆粒 1002 被計算只有發生大約 0.2 mm 來自該燃燒器 1006 的該內部表面 1004。因此，該燃燒器 1006 之該內部表面 1004 的腐蝕可被避免。

【0120】下述表 1 提供了用於操作傳統發電廠天然氣渦輪機設計的各種參數。這種典型渦輪機 1100 的截面圖被顯示在第 18 圖中。作為比較，下述表 2 提供了用於操作根據本揭露內容之高壓、低速渦輪機的相同參數。根據本揭露內容的示範性渦輪機 1200 被顯示於第 19 圖中。如同藉由比較該傳統渦輪機 1100 與本揭露內容的該渦輪機 1200 可見到的，在一些具體實施例中，相較於該傳統渦輪機的該渦輪機葉片 1108，由於本揭露內容的該渦輪機利用相對較短的渦輪機葉片 2008F，本揭露內容的該渦輪機可定義相對小的直徑。就這一點而言，如下述表中所示，在一些具體實施例中，相較於該傳統渦輪機 1100 的該渦輪機葉片 1108，本揭露內容之該渦輪機 1200 的該渦輪機葉片 2008F 可定義相對較小的平均內部半徑 (即，從該轉子 2006F 的中心至該渦輪機葉片的根部)、平均外部半徑 (即，從該轉子的中心至該渦輪機葉片的尖端) 以及平均半徑 (該內部以及外部半徑的平均)。

同樣的，相較於該傳統渦輪機 1100，本揭露內容的該渦輪機 1200 可定義相對較大的長度比直徑比例。此外，比起該傳統渦輪機 1100，本揭露內容的該渦輪機 1200 可包括相對較大數量的渦輪機葉片 2008F。此外，本揭露內容該渦輪機 1200 之該轉子 2006F 的直徑可小於該傳統渦輪機 1100 之該轉子 1106 的直徑。

表 1	
傳統設計	
參數	值
發電機功率需求	$2.5 \times 10^8 \text{ W}$
渦輪機進口壓力	15 巴 (1.5 MPa)
渦輪機出口壓力	1 巴 (0.1 MPa)
燃燒產物流溫度	1,623 K (1,350°C)
流量密度	0.75 kg/m^3
流速	700 mph (310 m/s)
渦輪機長度	10 m
渦輪機直徑	4 m
葉片數量	200

表 2	
具創造性的設計	
參數	值
發電機功率需求	$2.5 \times 10^8 \text{ W}$
渦輪機進口壓力	300 巴 (30 MPa)
渦輪機出口壓力	30 巴 (3 MPa)
燃燒產物流溫度	1,400 K (1,127°C)
流量密度	70 kg/m^3
流速	100 mph (44 m/s)
渦輪機長度	5 m
渦輪機直徑	1.5 m
葉片數量	1,000

【0121】本揭露內容所屬領域的技術人員將想到本文中提及之本揭露內容的許多修飾以及其他具體實施例具有前述描述中所呈現之教導的益處。因

此，將了解的是，本揭露內容不限於所揭露的特定具體實施例，且修飾以及其他的具體實施例意欲被包括在附帶之申請專利範圍的範圍內。雖然本文中使用了特定的用語，它們僅是以總稱以及描述的意義使用，且不用於限制的目的。

【符號說明】

【0122】

- 5 過濾器
- 7 微粒流
- 10 環境空氣
- 15 固體燃料
- 100 空氣分離單元
- 120 富含氧的流
- 200 研磨裝置
- 220 微粒固體燃料
- 250 混合器
- 255 泥漿
- 270 幫浦
- 300 燃燒裝置
- 320 燃燒產物流
- 326 所結合的燃燒產物以及清洗材料流
- 400 渦輪機
- 400a 發電機
- 410 渦輪機排出流
- 420 已過濾的渦輪機排出流
- 500 熱交換器
- 501 未處理的回收流
- 503 被回收循環流體的第一流
- 504 第二被回收循環流體流
- 506 第三被回收循環流體流

- 520 冷水熱交換器
- 521 流
- 540 分離器
- 541 被純化循環流體流
- 542 流
- 550 壓縮機
- 551 流
- 560 冷水熱交換器
- 561 CO₂ 循環流體流
- 562 CO₂ 側取出物
- 570 壓縮機
- 571 CO₂ 循環流體流
- 572 流
- 573 CO₂ 循環流體流
- 600 清洗材料匯合點
- 610 清洗材料流
- 650 流結合器開關
- 900 灰燼顆粒軌跡
- 902 灰燼顆粒
- 904 渦輪機葉片外表面
- 906 渦輪機葉片
- 908 CO₂ 蒸散流體
- 1000 第 3 圖：燃燒器
- 1000 第 17 圖：顆粒軌跡
- 1000' 燃燒器
- 1002 第 3 圖：燃燒室

- 1002 第 17 圖：灰燼顆粒
- 1004 第 3 圖：燃料進口
- 1004 第 17 圖：內部表面
- 1006 第 3 圖：O₂ 進口
- 1006 第 17 圖：燃燒器
- 1008 第 3 圖：燃燒產物流
- 1008 第 17 圖：蒸散流體
- 1008' 燃燒產物流
- 1010 外殼
- 1012 內殼
- 1014 蒸散流體
- 1016 蒸散層
- 1026 進口
- 1100 傳統渦輪機
- 1106 轉子
- 1108 渦輪機葉片
- 1200 渦輪機
- 2000 渦輪機
- 2000' 渦輪機
- 2002 進口導管
- 2002A 進口導管
- 2002B 進口導管
- 2004 渦輪機之殼
- 2006 轉子
- 2006' 轉子
- 2006F 轉子

2008 渦輪機葉片
2008A 渦輪機葉片
2008B 渦輪機葉片
2008C 渦輪機葉片
2008D 渦輪機葉片
2008E 渦輪機葉片
2008E' 渦輪機葉片
2008F 渦輪機葉片
2010 環形分流器
2011 動力軸
2012 渦輪機排出流
2014 出口
2016 內殼
2018 外殼
2020 內殼
2022 外殼
2024 蒸散流體
2026 進口
2028 蒸散層
2030 蒸散層
2032 第二進口
3002 外層
3004 核心
3006 更多的通道
3008 外部表面
4002 內層

4004 外層
4006 通道
4008 內部表面
4010 絕緣層
4012 第二外層
5006 通道
5006A 通道
5006B 通道
5008 渦輪機葉片的外表面
5014 桿子
5016 渦輪機葉片前緣
5018 渦輪機葉片後緣
6002 外層
6006 通道
6006A 通道
6006B 通道
6008 渦輪機葉片的外表面
6016 渦輪機葉片前緣
6018 渦輪機葉片後緣
6020 內肋
6022 基部構件
6026 根部
6028 尖端
7002 外層
7008 渦輪機葉片的外表面
7016 前緣

7018 後緣

8026 根部

8026' 根部

8028 尖端

8028' 尖端

8030A 層

8030B 層

8030C 層

8030D 層

【生物材料寄存】

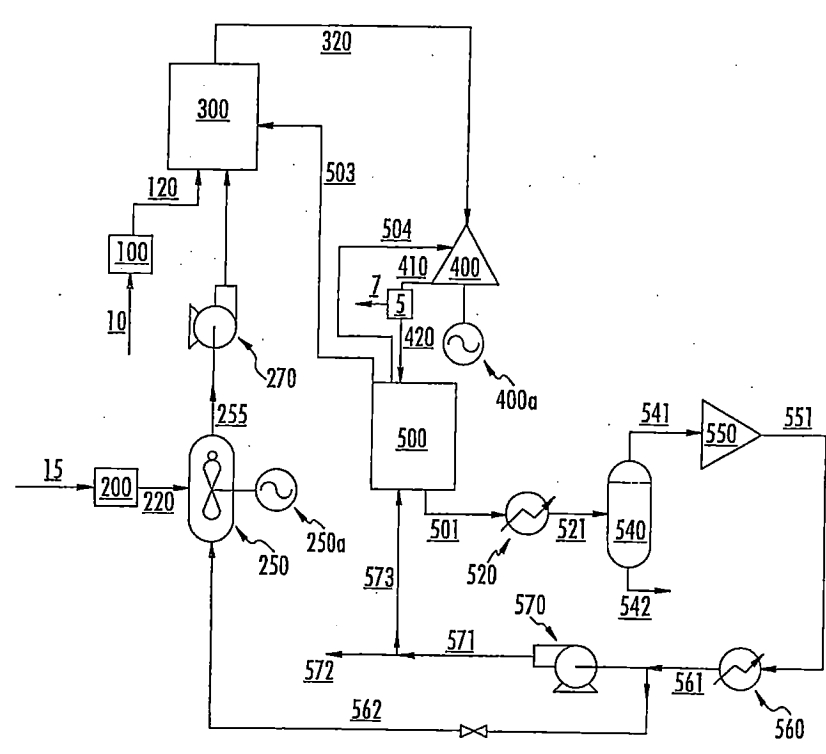
國內生物材料【請依寄存機構、日期、號碼順序註記】

國外生物材料【請依寄存國家、機構、日期、號碼順序註記】

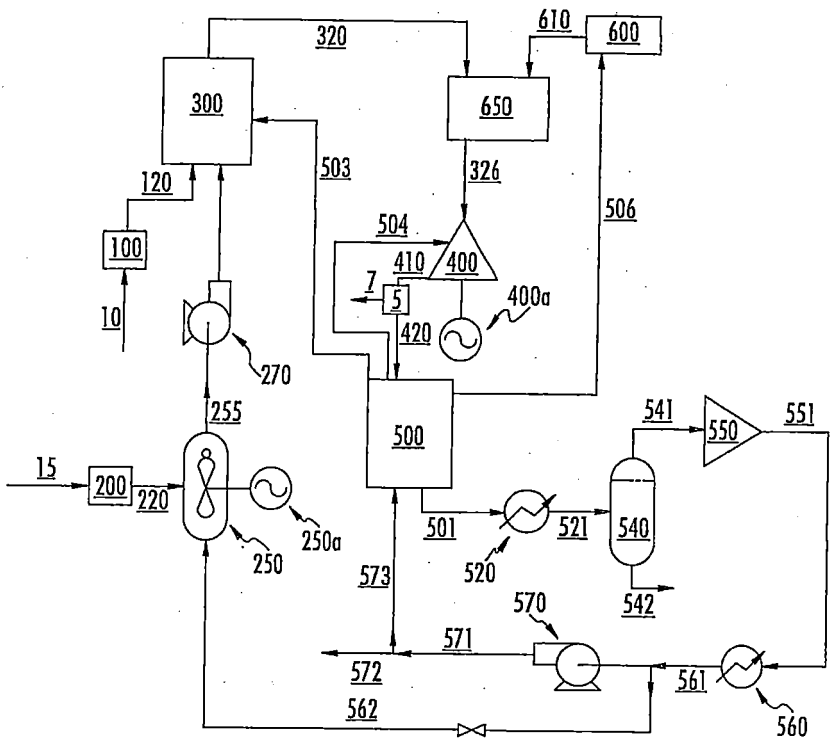
【序列表】

(請換頁單獨記載)

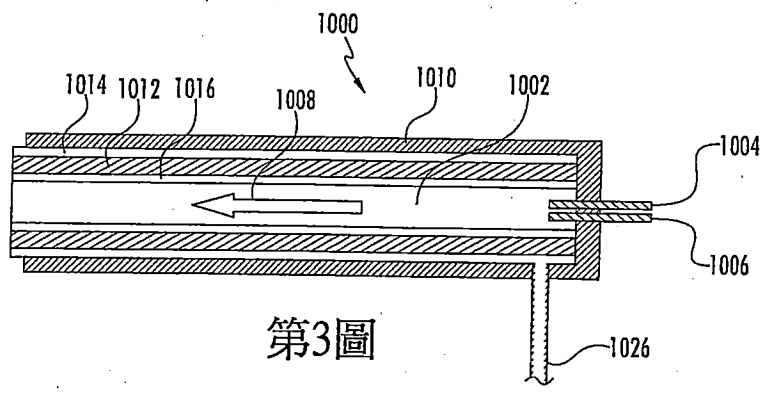
圖式



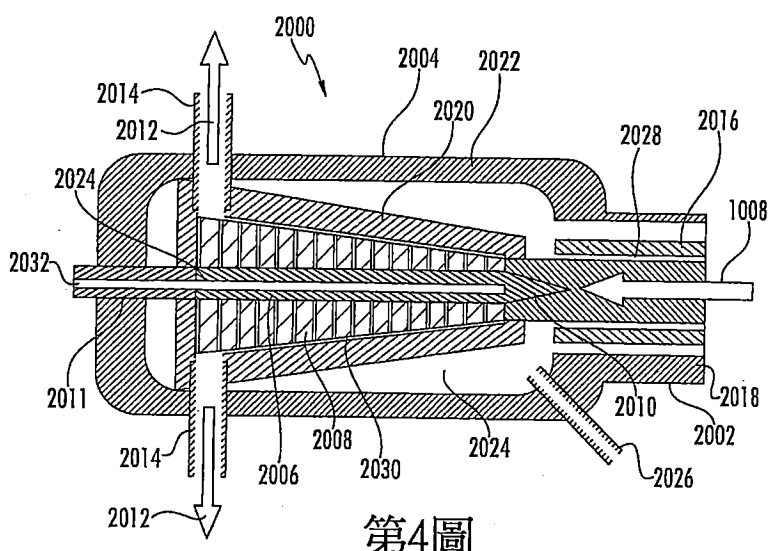
第1圖



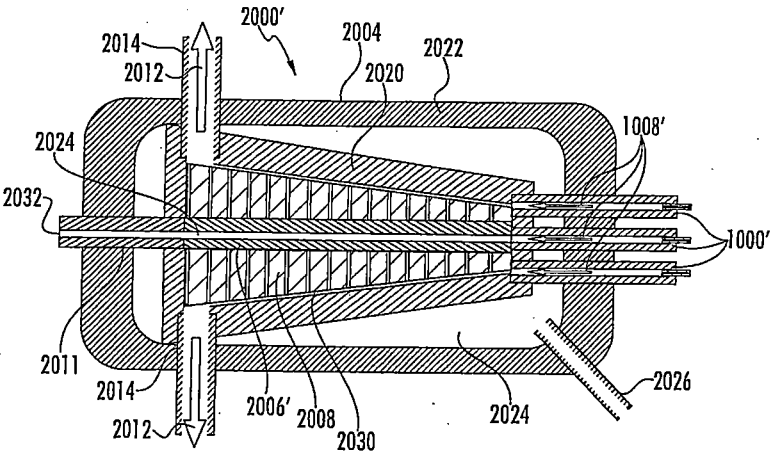
第2圖



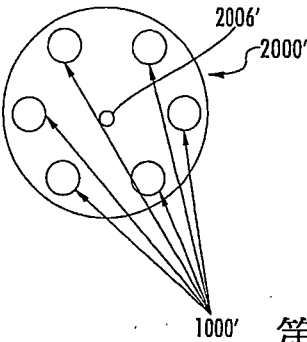
第3圖



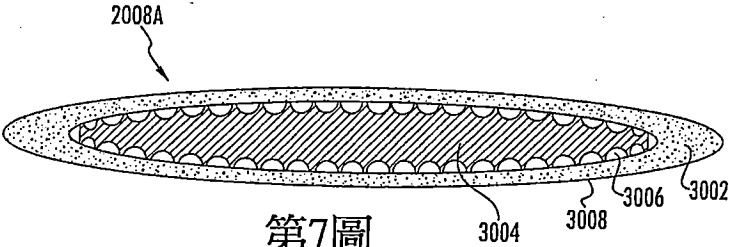
第4圖



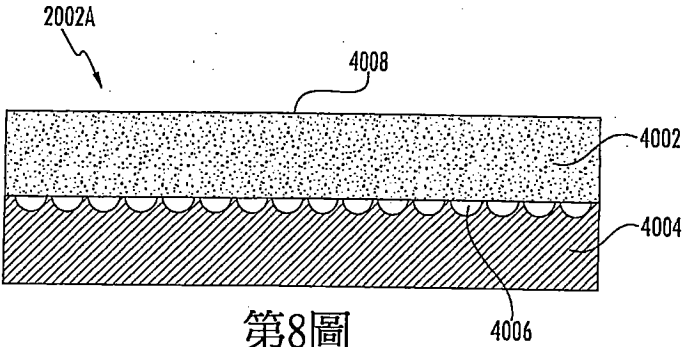
第5圖



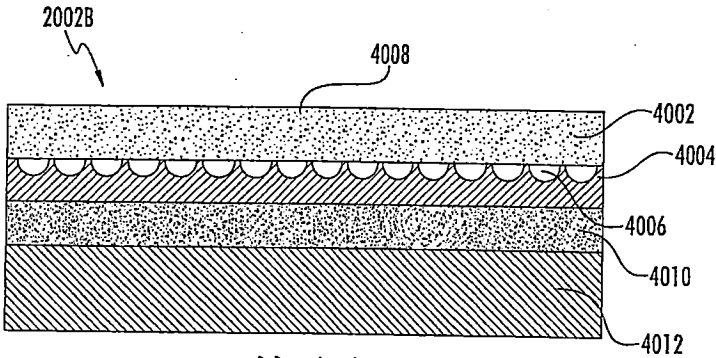
第6圖



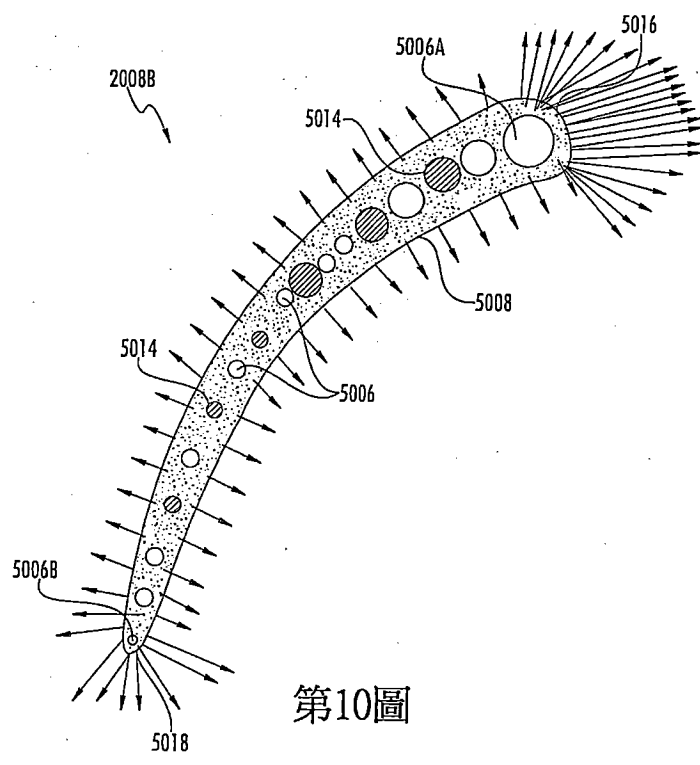
第7圖



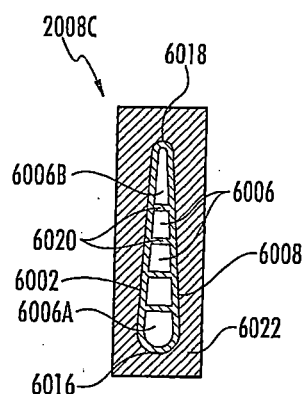
第8圖



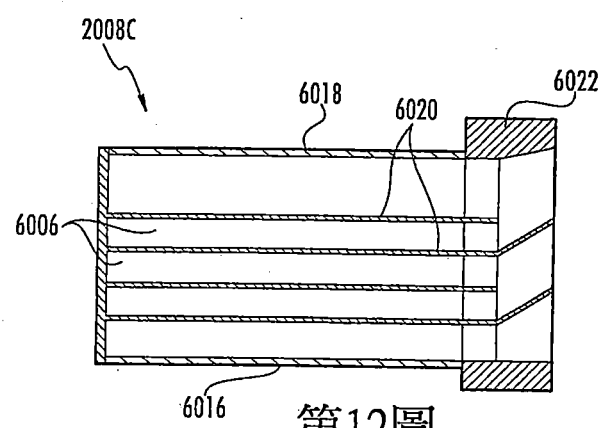
第9圖



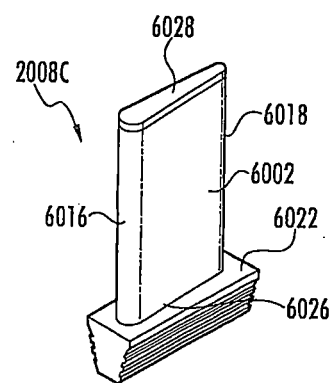
第10圖



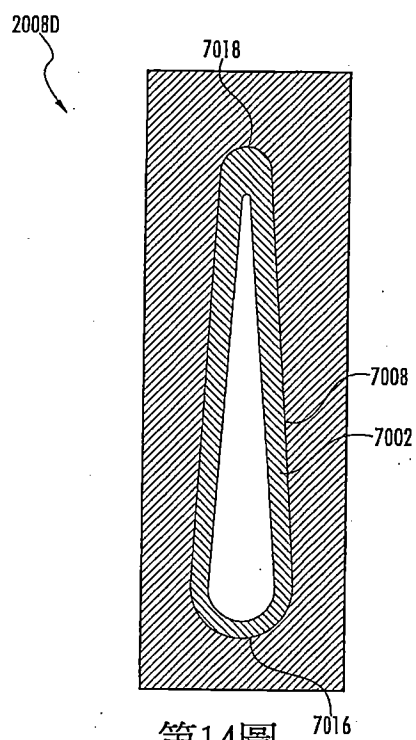
第11圖

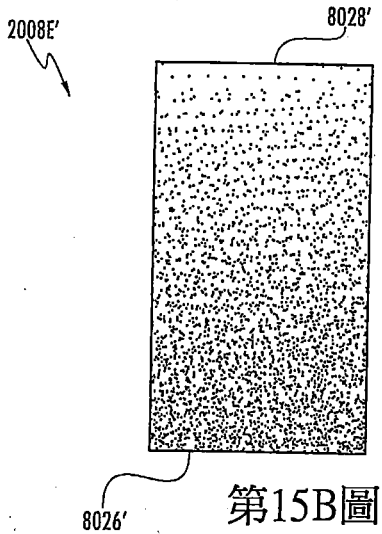
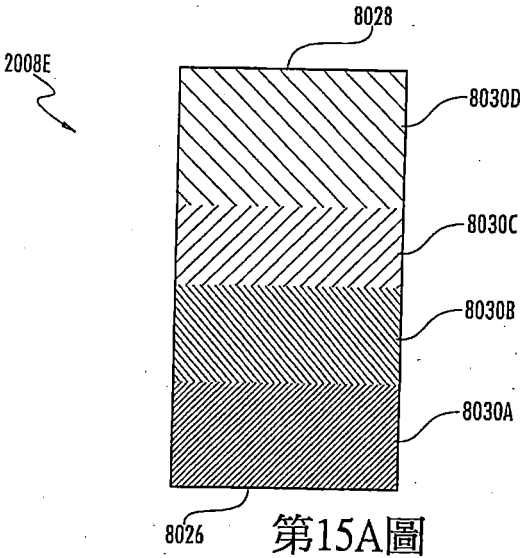


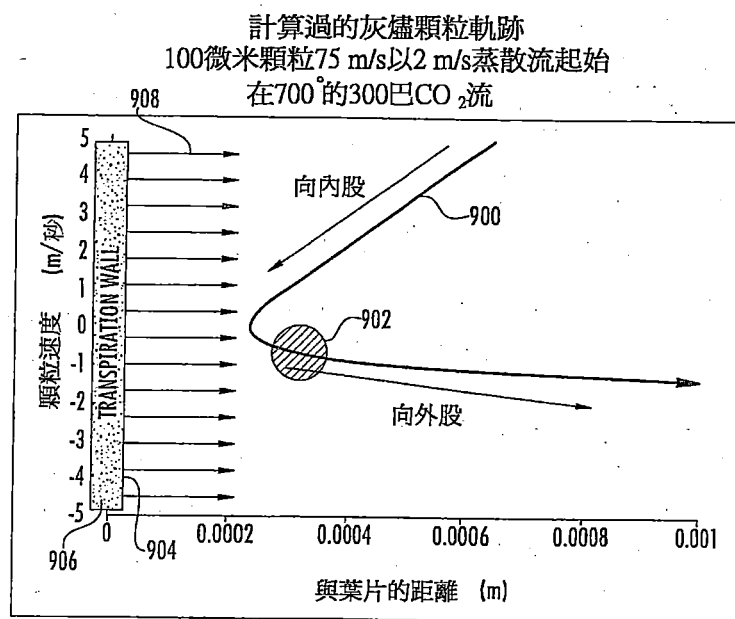
第12圖



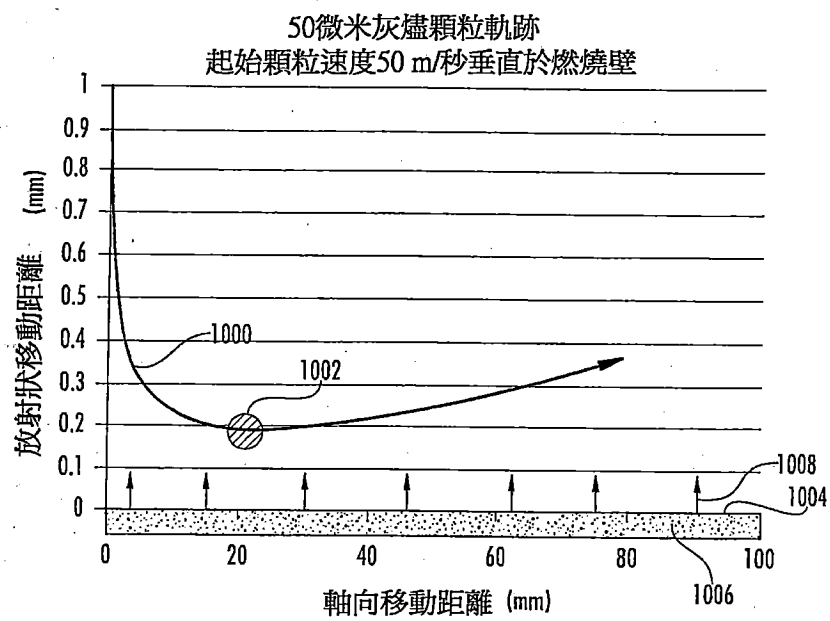
第13圖



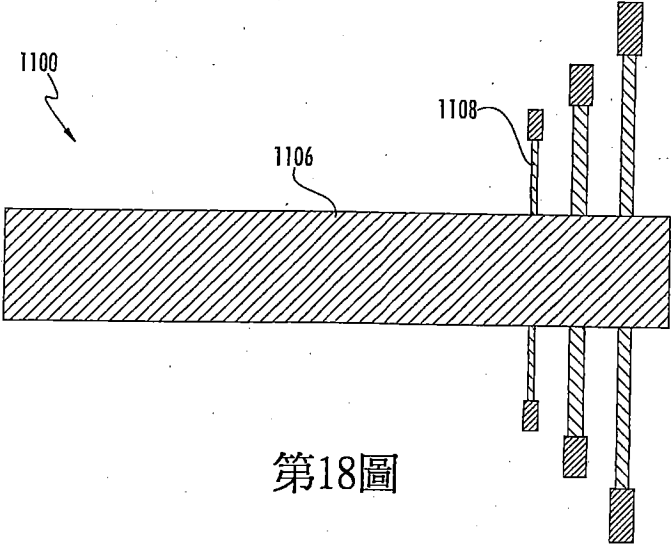




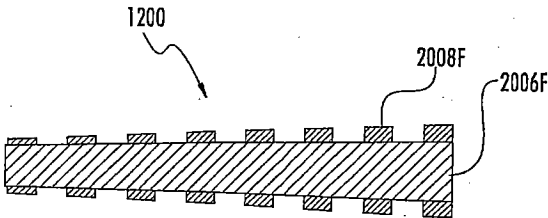
第16圖



第17圖



第18圖



第19圖

【代表圖】：

【本案指定代表圖】：第（1）圖。

【本代表圖之符號簡單說明】：

- 5 過濾器
- 7 微粒流
- 10 環境空氣
- 15 固體燃料
- 100 空氣分離單元
- 120 富含氧的流
- 200 研磨裝置
- 220 微粒固體燃料
- 250 混合器
- 255 泥漿
- 270 幫浦
- 300 燃燒裝置
- 320 燃燒產物流
- 400 渦輪機
- 400a 發電機
- 410 渦輪機排出流
- 420 已過濾的渦輪機排出流
- 500 熱交換器
- 501 未處理的回收流
- 503 被回收循環流體的第一流
- 504 第二被回收循環流體流

520 冷水熱交換器

521 流

540 分離器

541 被純化循環流體流

542 流

550 壓縮機

551 流

560 冷水熱交換器

561 CO₂ 循環流體流

562 CO₂ 側取出物

570 壓縮機

571 CO₂ 循環流體流

572 流

573 CO₂ 循環流體流

【本案若有化學式時，請揭示最能顯示發明特徵的化學式】：

發明專利說明書

(本說明書格式、順序，請勿任意更動)

【發明名稱】

高效率發電組合/ High Efficiency Power Production Assembly

【技術領域】

【0001】 相關申請案的交互參考

【0002】 此申請案主張於 2010 年 9 月 21 日申請之美國臨時申請案第 61/385,039 號、於 2010 年 9 月 21 日申請之美國臨時申請案第 61/385,047 號以及於 2011 年 1 月 28 日申請之美國臨時申請案第 61/437,330 號的優勢。該參照之申請案的全部揭露內容於此併入於本文中以作為參考。

【0003】 本揭露內容提供了可用於發電方法以及系統中的渦輪機以及燃燒器組件。本揭露內容也提供了在發電中使用這種渦輪機以及燃燒器組件的方法。

【先前技術】

【0004】 氣渦輪機被常規地使用於發電系統以及方法中，以從燃燒氣體流中取得能量，該燃燒氣體被引導穿過存在於該渦輪機中的葉片，以旋轉渦輪軸。能量可藉由發電機而從該旋轉軸取得，以提供為電力形式的動力。由於極端的條件（例如高溫以及腐蝕性及/或侵蝕性材料的存在），在該極端的條件下氣渦輪機在典型的發電廠中操作（例如，燃煤火力發電廠），氣渦輪機組件典型地由高性能材料形成。因此，氣渦輪機常為發電設備的高成本組件。

【0005】 現有的渦輪機可使用約 1200°C 至約 1400°C 的進口溫度、約 900°C 至約 1000°C 的葉片溫度操作。因此，發電設備中的氣渦輪機操作典型需要使用超合金材料以禁得起高溫。此外，對於最先進的應用，也需要葉片冷卻與先進製造技術的使用，例如方向性凝固的材料以及甚至單晶葉片技

術。葉片冷卻被用以幫助改善渦輪機溫度耐受性，以及因此改善效率，但此過程已因只有空氣（或在一些例子中只有蒸氣）可用於冷卻而受到限制。可用於冷卻的空氣量受限於經由該渦輪機葉片而可用以壓縮以及唧取該空氣（有時為蒸氣）的能量量。此外，甚至在高流速之下，該空氣典型地在一有限的壓力下被提供 – 例如，接近大氣壓力 – 以及因此具有有限的熱轉移能力。此外，空氣含有大量的氧，其在高溫下具高度反應性，且這是另一個傾向需要渦輪機葉片在冶金學上被限制於高度抗氧化材料（例如超合金）的因素。因此，儘管使用先進的材料以及冷卻，氣渦輪機葉片仍有氧化以及在一些例子中仍有蒸氣降解的困擾。

【0006】雖然化石燃料來源正被耗盡，仍有大量儲藏量之可用於發電的煤炭，但燃燒這種固體燃料不只導致污染，也導致可對發電系統組件造成傷害的微粒，特別是渦輪機葉片。這種傷害特別是由以高速衝擊渦輪機葉片之燃燒產物流中的顆粒引起 – 例如，高達以及超過 600 mph (268 m/s)。如同上述所提，先前試圖緩和這種傷害的嘗試已包括需要過濾系統以在穿過該渦輪機之前從燃燒產物流移除微粒，以及在葉片構造中使用高效能材料。然而，這種需要增加了發電系統的成本。此外，這種需要增加了發電系統的複雜性，且可降低該發電方法的效率。因此，有克服至少前述本技術領域中之限制的改進氣渦輪機葉片技術的需要。

【發明內容】

【0007】本揭露內容提供了發電的方法、組合以及系統，其可考慮到增加的效率以及可降低由空氣與蒸氣以及由燃燒產物流中微粒造成之機械性腐蝕的控制、降低或消除而引起的成本組成部分。該方法、組合以及系統可包含使用較高的壓力流體流及/或具有增加總葉片區域的渦輪機葉片，其考慮到在葉片速度以及葉片溫度的大量降低下所需的功率產生。本揭露內容特別為了相較於傳統發電系統中所使用的渦輪機在至少一尺寸上顯著較小且具有冷卻葉片的渦輪機作準備。這種渦輪機特別可被併入於發電方法或系統中。例如，該方法或系統可以是併入使用高壓、高循環率之循環或工作流體的方法或系統，例如 CO₂ 循環流體。此外，葉片冷卻技術可與該葉

I634261

發明摘要

※ 申請案號：106103049

※ 申請日：

※IPC 分類：

【發明名稱】

高效率發電組合/ High Efficiency Power Production Assembly

【中文】

本揭露內容提供了用於發電的方法、組合以及系統，其可允許增加的效率以及較低的成本組件，該增加的效率以及較低的成本源自控制、降低或消除微粒造成的渦輪機葉片機械性腐蝕或由燃燒產物流中之氣體造成的化學腐蝕。該方法、組合以及系統可包括渦輪機葉片的使用，該渦輪機葉片以相對於典型發電系統中所使用之傳統渦輪機顯著降低的葉片速度操作。該方法以及系統也可使用被回收的循環流體用於該渦輪機及/或其他的組件的蒸散保護。此外，被回收的循環流體可被利用以提供清洗材料至該渦輪機。

【英文】

The present disclosure provides methods, assemblies, and systems for power production that can allow for increased efficiency and lower cost components arising from the control, reduction, or elimination of turbine blade mechanical erosion by particulates or chemical erosion by gases in a combustion product flow. The methods, assemblies, and systems can include the use of turbine blades that operate with a blade velocity that is significantly reduced in relation to conventional turbines used in typical power production systems. The methods and systems also can make use of a recycled circulating fluid for transpiration protection of the turbine and/or other components. Further, recycled circulating fluid may be employed to provide cleaning materials to the turbine.

申請專利範圍

1. 一種渦輪機組合，包括：

多個組件，包括：

一殼，其定義：

被配置為接收一燃燒產物流的一進口，以及
一出口；

位於該殼中的一轉子；以及

從該轉子的一根部延伸至一尖端的多個葉片，

其中該葉片包括一多孔燒結材料，該多孔燒結材料被配置為引導一蒸散流體至該葉片的一外部表面以及定義在一前緣的該蒸散流體的一流，在該前緣的該蒸散流體的該流大於在一後緣的該蒸散流體的一流，其中至少一部份由該多孔燒結材料定義以及在該根部與該尖端之間延伸的一或更多通道被配置為接收該蒸散流體並引導該蒸散流體進入該多孔燒結材料中。

2. 如申請專利範圍第 1 項所述的渦輪機組合，其中符合下列條件中的一或多個條件：

該多孔燒結材料定義該葉片的該外部表面的全部；

該多個葉片中的每一個葉片定義在該前緣的一蒸散流體進口區域，在該前緣的該蒸散流體進口區域大於在該後緣的一蒸散流體進口區域；

該多個葉片中的每一個葉片定義在該後緣大於在該前緣的一壁厚度；以及

該多個葉片中的每一個葉片分別定義包括多個內肋的一整體結構。

3. 如申請專利範圍第 1 項所述的渦輪機組合，其中該殼包括該多孔燒結材料，以及該多孔燒結材料被配置為將該蒸散流體引導至該殼的一內部表面。

4. 如申請專利範圍第 1 項所述的渦輪機組合，其中符合下列條件中的一或兩個條件：

該轉子包括該多孔燒結材料，以及該多孔燒結材料被配置為將該蒸散流體引導至該轉子的一外部表面；以及

該轉子包括被配置為使繞著該轉子的該燃燒產物流轉向的一環形分流器。

5. 如申請專利範圍第 1 項所述的渦輪機組合，更包括一進口導管，該進口導管與該殼的該進口耦合、且被配置為與一燃燒器組合的一出口耦合以及從其接收該燃燒產物流，其中該進口導管包括該多孔燒結材料，以及該多孔燒結材料被配置為將該蒸散流體引導至該進口導管的一內部表面。

6. 如申請專利範圍第 1 項所述的渦輪機組合，其中該殼的該進口被配置為與一燃燒器組合的一出口直接耦合，可選地其中該殼的該進口被配置為從多個燃燒器接收該燃燒產物流，該多個燃燒器相對於該轉子所定義的一主軸而被放射狀地配置。

7. 如申請專利範圍第 1 項所述的渦輪機組合，其中該多個葉片分別更包括至少一加強構件。

8. 如申請專利範圍第 7 項所述的渦輪機組合，其中符合下列條件中一或兩個條件：

該加強構件包括一桿子，該桿子延伸穿過該多個葉片中每一個葉片的該多孔燒結材料；以及

該加強構件包括一核心，其中該多孔燒結材料繞著該核心延伸。

9. 如申請專利範圍第 1 項所述的渦輪機組合，其中該多孔燒結材料定義在該根部以及該尖端之間不同的一多孔性。

10. 如申請專利範圍第 9 項所述的渦輪機組合，其中：

該多孔燒結材料的該多孔性被配置為定義在該尖端的該蒸散流體的一流，在該尖端的該蒸散流體的該流大於在該根部的該蒸散流體的一流；

該多孔燒結材料的該多孔性被配置為定義在該尖端的該蒸散流體的一流，在該尖端的該蒸散流體的該流大體上等於在該根部的該蒸散流體的一流；或

該多孔燒結材料定義多個層，其中該多個層的該多孔性從該根部至該尖端增加。

11. 如申請專利範圍第 1 項所述的渦輪機組合，其中該組件更包括多個定子，其中該定子包括該多孔燒結材料，以及該多孔燒結材料被配置為將該蒸散流體引導至該定子的一外部表面。
12. 如申請專利範圍第 1 項所述的渦輪機組合，更包括一或更多封條，其中該多個組件中的一或更多個組件被配置為將該蒸散流體引導至該封條，以及其中該封條可選地包括該多孔燒結材料。
13. 如申請專利範圍第 1 項所述的渦輪機組合，其中該渦輪機組合的一長度對該葉片的一平均直徑的一比例大於 3.5。
14. 如申請專利範圍第 13 項所述的渦輪機組合，其中符合下列條件中一或兩個條件：

該渦輪機葉片具有小於 0.275m 的一葉片高度；

該渦輪機組合包括小於 2,000 個該葉片。