



(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 I878933 B

(45)公告日：中華民國 114 (2025) 年 04 月 01 日

(21)申請案號：112123583

(22)申請日：中華民國 112 (2023) 年 06 月 26 日

(51)Int. Cl. : F23C5/24 (2006.01)

(30)優先權：2022/06/30 美國

17/854,782

(71)申請人：美商氣體產品及化學品股份公司 (美國) AIR PRODUCTS AND CHEMICALS, INC.
(US)

美國

(72)發明人：馬克瓦納 阿南德庫馬爾 MAKWANA, ANANDKUMAR (IN) ; 薩尼 阿努普瓦桑
特 SANE, ANUP VASANT (IN) ; 巴辛斯基 麥克大衛 BUZINSKI, MICHAEL
DAVID (US) ; 何 筱毅 HE, XIAOYI (US)

(74)代理人：陳展俊

(56)參考文獻：

CN 108700287A

US 5545031A

審查人員：謝濠全

申請專利範圍項數：19 項 圖式數：12 共 72 頁

(54)名稱

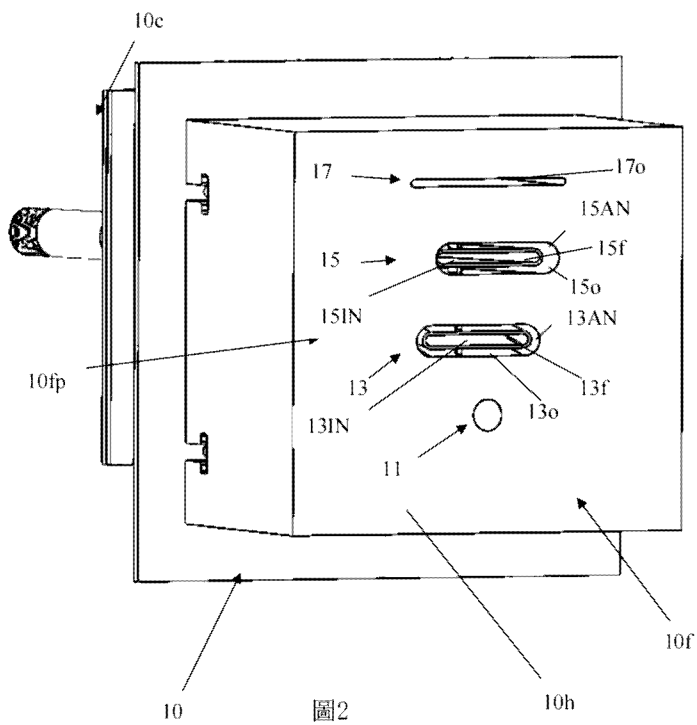
用於暫態加熱之燃燒器、含有其之熔爐及運行該燃燒器之方法

(57)摘要

一種燃燒器，其包含：一第一燃燒器元件，其具有圍繞一第一內部燃料噴嘴之一第一環形氧化劑噴嘴；一第二燃燒器元件，其具有圍繞一第二內部燃料噴嘴之一第二環形氧化劑噴嘴，該第二燃燒器元件定位成鄰近該第一燃燒器元件並與該第一燃燒器元件間隔開；一分級噴嘴，其經組態以使次要氧化劑流動，並且定位成鄰近該第二燃燒器元件並與該第二燃燒器元件間隔開，並且藉由該第二燃燒器元件與該第一燃燒器元件分離；其中該第一內部噴嘴及該第二內部噴嘴各自具有由長度 L 界定之一長軸線及由高度 h_f 界定之一短軸線；其中 $5 \leq L/h_f \leq 15$ ；其中該分級噴嘴具有一長軸線；並且其中該第一內部噴嘴及該第二內部噴嘴以及該分級噴嘴之長軸線實質上彼此平行。

A burner including a first burner element having a first annular oxidant nozzle surrounding a first inner fuel nozzle; a second burner element having a second annular oxidant nozzle surrounding a second inner fuel nozzle, the second burner element being positioned adjacent to and spaced apart from the first burner element; a staging nozzle configured to flow secondary oxidant and being positioned adjacent to and spaced apart from the second burner element and separated from the first burner element by the second burner element; wherein the first inner nozzle and the second inner nozzle each have a major axis defined by a length L and a minor axis defined by a height h_f ; wherein $5 \leq L/h_f \leq 15$; wherein the staging nozzle has a major axis; and wherein the major axes of the first and second inner nozzles and the staging nozzle are substantially parallel with each other.

指定代表圖：



符號簡單說明：

- 10:燃燒器
- 10h:燃燒器之熱側
- 10c:燃燒器後側
- 10f:燃燒器面
- 10fp:燃燒器面平面
- 11:下引燃火焰口
- 13:第一燃燒器元件
- 13AN:第一環形噴嘴
- 13IN:第一內部噴嘴
- 13f:第一內部燃料出口
- 13o:第一外部氧化劑流出口
- 15:第二燃燒器元件
- 15AN:第二環形噴嘴
- 15IN:第二內部噴嘴
- 15f:第二內部燃料出口
- 15o:第二外部氧化劑流出口
- 17:分級噴嘴
- 17o:氧化劑流出口



I878933

【發明摘要】

【中文發明名稱】 用於暫態加熱之燃燒器、含有其之熔爐及運行該燃燒器之方法

【英文發明名稱】 BURNER FOR TRANSIENT HEATING, FURNANCE
CONTAINING THE SAME AND METHOD OF OPERATING THE BURNER

【中文】

一種燃燒器，其包含：一第一燃燒器元件，其具有圍繞一第一內部燃料噴嘴之一第一環形氧化劑噴嘴；一第二燃燒器元件，其具有圍繞一第二內部燃料噴嘴之一第二環形氧化劑噴嘴，該第二燃燒器元件定位成鄰近該第一燃燒器元件並與該第一燃燒器元件間隔開；一分級噴嘴，其經組態以使次要氧化劑流動，並且定位成鄰近該第二燃燒器元件並與該第二燃燒器元件間隔開，並且藉由該第二燃燒器元件與該第一燃燒器元件分離；其中該第一內部噴嘴及該第二內部噴嘴各自具有由長度 L 界定之一長軸線及由高度 h_f 界定之一短軸線；其中 $5 \leq L/h_f \leq 15$ ；其中該分級噴嘴具有一長軸線；並且其中該第一內部噴嘴及該第二內部噴嘴以及該分級噴嘴之長軸線實質上彼此平行。

【英文】

A burner including a first burner element having a first annular oxidant nozzle surrounding a first inner fuel nozzle; a second burner element having a second annular oxidant nozzle surrounding a second inner fuel nozzle, the second burner element being positioned adjacent to and spaced apart from the first burner element; a staging nozzle

configured to flow secondary oxidant and being positioned adjacent to and spaced apart from the second burner element and separated from the first burner element by the second burner element; wherein the first inner nozzle and the second inner nozzle each have a major axis defined by a length L and a minor axis defined by a height h_f ; wherein $5 \leq L/h_f \leq 15$; wherein the staging nozzle has a major axis; and wherein the major axes of the first and second inner nozzles and the staging nozzle are substantially parallel with each other.

【指定代表圖】 圖2

【代表圖之符號簡單說明】

10:燃燒器

10h:燃燒器之熱側

10c:燃燒器後側

10f:燃燒器面

10fp:燃燒器面平面

11:下引燃火焰口

13:第一燃燒器元件

13AN:第一環形噴嘴

13IN:第一內部噴嘴

13f:第一內部燃料出口

13o:第一外部氧化劑流出口

15:第二燃燒器元件

15AN:第二環形噴嘴

15IN:第二內部噴嘴

15f:第二內部燃料出口

15o:第二外部氧化劑流出口

17:分級噴嘴

17o:氧化劑流出口

【發明說明書】

【中文發明名稱】 用於暫態加熱之燃燒器、含有其之熔爐及運行該燃燒器之方法

【英文發明名稱】 BURNER FOR TRANSIENT HEATING, FURNANCE
CONTAINING THE SAME AND METHOD OF OPERATING THE BURNER

【技術領域】

【0001】 本創新係關於暫態加熱之燃燒器及方法，以及使用該等用於暫態加熱之燃燒器及方法的設備（例如反射熔爐、反射熔爐用燃燒器等）、該等設備之運行態樣、及其製造與使用方法。

【先前技術】

【0002】 眾所周知，氧燃料燃燒器為廣泛之工業應用中之熔爐提供主要或補充熱量。本申請人擁有數項此類專利，包含美國專利案第7,390,189號、第8,806,897號及第10,584,051號（平焰分級燃燒器之各種設計及應用(various designs and applications of flat-flame staged burners)），以及美國專利案第9,360,257號、第9,976,721號、第9,657,945號及第9,689,312號，以及美國專利公開案第2021/0116125號（具有多個燃燒器元件之燃燒器之各種設計及應用，該等燃燒器元件可被製成主動或被動地將更高或更低位準之熱量導向熔爐之某些部分(various designs and applications of burners with multiple burner elements that can be made active or passive to direct higher or lower levels of heat to certain parts of a furnace)）。

【發明內容】

【0003】 本申請案描述燃燒器之實施例，該燃燒器選擇性地將較大之火焰導向一熔爐之一或多個部分，並將較小之火焰導向一熔爐之另一或多個部分，以能夠更好地控制該熔爐中之溫度分佈。

【0004】 態樣1. 一種用於一熔爐之暫態加熱之燃燒器，該燃燒器包括：一燃燒器面，其經組態以在該燃燒器安裝在該熔爐中時定位在該熔爐之一內表面處，該燃燒器面界定一燃燒器面平面；一第一燃燒器元件，其具有一第一環形噴嘴，該第一環形噴嘴經組態以使主要氧化劑圍繞一第一內部噴嘴流動，該第一內部噴嘴經組態以使燃料流動；一第二燃燒器元件，其具有一第二環形噴嘴，該第二環形噴嘴經組態以使主要氧化劑圍繞一第二內部噴嘴流動，該第二內部噴嘴經組態以使燃料流動，該第二燃燒器元件定位成鄰近該第一燃燒器元件並與該第一燃燒器元件間隔開；一分級噴嘴，其經組態以使次要氧化劑流動，該分級噴嘴被定位成鄰近該第二燃燒器元件並與該第二燃燒器元件間隔開，其中該第二燃燒器元件定位在該分級噴嘴與該第一燃燒器元件之間；其中該第一內部噴嘴及該第二內部噴嘴各自具有由在該燃燒器面平面處量測之一長軸線長度 L 界定的一長軸線、由在該燃燒器面平面處量測之一短軸線高度 hf 界定的一短軸線、及 $5 \leq L/hf \leq 15$ 之一燃料噴嘴長寬比；其中該分級噴嘴具有由在該燃燒器面平面處量測之一長軸線長度 X 界定之一長軸線，及由在該燃燒器面平面處量測之一短軸線高度 Y 界定之一短軸線；且其中該第一內部噴嘴之該長軸線、該第二內部噴嘴之該長軸線及該分級噴嘴之該長軸線在小於或等於 5° 之偏差範圍內實質上彼此平行。

- 【0005】 態樣2. 如態樣1所述之燃燒器，其中該分級噴嘴具有 $10 \leq X/Y \leq 40$ 之長寬比。
- 【0006】 態樣3. 如態樣1或態樣2所述之燃燒器，其中 $1 \leq X/L \leq 2.5$ 。
- 【0007】 態樣4. 如態樣1至3中任一者所述之燃燒器，其中該第二燃燒器元件與該第一燃燒器元件間隔一距離H1，其中 $2 \leq H1/hf \leq 20$ ；且其中該分級噴嘴與該第二燃燒器元件間隔開距離H2，其中 $2 \leq H2/hf \leq 20$ 。
- 【0008】 態樣5. 如態樣1至4中任一者所述之燃燒器，其中該第一內部噴嘴之該短軸線與該第二內部噴嘴之該短軸線偏移一距離B，其中 $0 < B/L \leq 1.5$ ；且其中該第一內部噴嘴之該短軸線與該第二內部噴嘴之該短軸線在小於或等於 5° 之偏差範圍內實質上彼此平行。
- 【0009】 態樣6. 如態樣1至5中任一者所述之燃燒器，其進一步包括：一引燃火焰口，其經定位以鄰近該第一燃燒器元件並與該第一燃燒器元件間隔一距離H3；其中該第一燃燒器元件定位在該第二燃燒器元件與該引燃火焰口之間；且其中 $2 \leq H3/hf \leq 20$ 。
- 【0010】 態樣7. 如態樣1至6中任一者所述之燃燒器，其進一步包括：一第一燃料導管，其經組態以向該第一內部噴嘴供應燃料，該第一燃料導管具有與該第一燃料導管中之燃料流動方向對準之一縱向軸線，該縱向軸線相對於垂線以角度 α 與該燃燒器面平面相交，並且相對於該第一內部噴嘴之該長軸線成互補角 $(90^\circ - \alpha)$ ；一第二燃料導管，其經組態以向該第二內部噴嘴供應燃料，該第二燃料導管具有與該第二燃料導管中之燃料流動方向對準之一縱向軸線，該縱向軸線相對於垂線以角度 α 與該燃燒器面平面相交，並且相對於該第二內部噴嘴之該長軸線成互補角 $(90^\circ - \alpha)$ ；其中該第一燃料導管之該縱向軸線及該第二燃料導管之該縱向軸線相對於彼此成角度 2α ；且其中 $0 < \alpha \leq 20^\circ$ 。
- 【0011】 態樣8. 如態樣7所述之燃燒器，其中 $5^\circ < \alpha \leq 20^\circ$ 。

【0012】 態樣9. 如態樣7或態樣8所述之燃燒器，其中該第一燃料導管之該縱向軸線相對於垂線以角度 β 與由該第一內部噴嘴之該長軸線及該短軸線界定的平面相交，並且相對於該第一內部噴嘴之該短軸線成互補角($90^\circ - \beta$)；其中該第二燃料導管之該縱向軸線相對於垂線以角度 β 與由該第二內部噴嘴之該長軸線及該短軸線界定的平面相交，並且相對於該第二內部噴嘴之該短軸線成互補角($90^\circ - \beta$)；其中該第一燃料導管之該縱向軸線及該第二燃料導管之該縱向軸線各與該分級噴嘴成一定角度；且其中 $0 < \beta \leq 10^\circ$ 。

【0013】 態樣10. 如態樣1至6中任一者所述之燃燒器，其進一步包括：一第一燃料導管，其經組態以向該第一內部噴嘴供應燃料，該第一燃料導管具有與該第一燃料導管中之燃料流動方向對準之一縱向軸線，該縱向軸線相對於垂線以角度 β 與該燃燒器面平面相交，並且相對於該第一內部噴嘴之該短軸線成互補角($90^\circ - \beta$)；一第二燃料導管，其經組態以向該第二內部噴嘴供應燃料，該第二燃料導管具有與該第二燃料導管中之燃料流動方向對準之一縱向軸線，該縱向軸線相對於垂線以角度 β 與該燃燒器面平面相交，並且相對於該第二內部噴嘴之該短軸線成互補角($90^\circ - \beta$)；其中該第一燃料導管之該縱向軸線及該第二燃料導管之該縱向軸線各與該分級噴嘴成一定角度；且其中 $0 < \beta \leq 10^\circ$ 。

【0014】 態樣11. 如態樣1至態樣10中任一者所述之燃燒器，其中一總燃料流及一總氧化劑流以一當量比提供至該燃燒器，其中當量比1表示燃料與氧化劑之化學計量比，大於1之當量比表示富燃料之化學計量比，小於1之當量比表示貧燃料之化學計量比，該燃燒器進一步包括：一控制器，其經程式化以：獨立地控制至該第一內部噴嘴及該第二內部噴嘴中之各者的燃料流；且控制該總氧化劑流之分佈，使其由分配在該第一環形噴嘴與該第二環形噴嘴之間之一主要氧化劑流及提供至該分級噴嘴之一次要氧化劑流組成，其中該主要氧化劑流為該總氧化劑流的60%至95%。

【0015】 態樣12. 如態樣11所述之燃燒器，其中該主要氧化劑流以0.9至1.1之比在該第一環形噴嘴與該第二環形噴嘴之間分配。

【0016】 態樣13. 如態樣11或態樣12所述之燃燒器，其中該控制器經程式化以按一比例模式運行該燃燒器，其中該總燃料流被供應至該第一內部噴嘴及該第二內部噴嘴，使得該第一燃燒器元件之當量比為1.05至1.5，且該第二燃燒器元件之當量比為1.05至1.5。

【0017】 態樣14. 如態樣11至態樣13所述之燃燒器，其中該控制器經程式化以在一交替模式下運行燃燒器，其中該第一內部噴嘴與該第二內部噴嘴之間之該總燃料流的分配在一第一狀態與一第二狀態之間來回切換，在該第一狀態中該第一燃燒器元件處於主動而該第二燃燒器元件處於被動，且在該第二狀態中該第一燃燒器元件處於被動而該第一燃燒器元件處於主動；其中一主動燃燒器元件以1.4至3之當量比來表徵，且一被動燃燒器元件以0.1至1之當量比來表徵。

【0018】 態樣15. 如態樣14所述之燃燒器，其中該控制器經程式化以基於預定時間段之流逝及來自經定位以偵測該熔爐中之至少一個狀況的一感測器之資料中的一或多者，在該第一狀態與該第二狀態之間切換。

【0019】 態樣16. 如態樣1至態樣15中任一者所述之燃燒器，其中該第一環形噴嘴及該第二環形噴嘴各自具有分別與該第一內部噴嘴及該第二內部噴嘴之該長軸線及該短軸線重合的一長軸線及一短軸線，其中該第一環形噴嘴及該第二環形噴嘴之各者的該短軸線由高度 h_o 界定；其中燃料以一燃料速度離開該第一內部噴嘴及該第二內部噴嘴之各者；其中主要氧化劑以一主要氧化劑速度離開該第一環形噴嘴及該第二環形噴嘴之各者；且其中比 h_o/h_f 經定大小以產生1至4之燃料速度與主要氧化劑速度之比。

【0020】 態樣17. 如態樣1至16中任一者所述之燃燒器，其進一步包括：一引燃火焰口，其定位在該第一燃燒器元件下方，該引燃火焰口之一頂部與該第一環形噴嘴之一底部垂直間隔一第三垂直間距H3，使得 $2 \leq H3/hf \leq 20$ ；且其中該第二燃燒器元件之一底部與該第一環形噴嘴之一頂部間隔一第一垂直距離H1，其中 $2 \leq H1/hf \leq 20$ ；且其中該分級噴嘴之一底部與該第二環形噴嘴之一頂部間隔一第二垂直距離H2，其中 $2 \leq H2/hf \leq 20$ ；且其中該第一內部噴嘴之該短軸線與該第二內部噴嘴之該短軸線偏移一距離B，其中 $0 < B/L \leq 1.5$ ；且其中該第一內部噴嘴之該短軸線與該第二內部噴嘴之該短軸線在小於或等於5°之偏差範圍內實質上彼此平行。

【0021】 態樣18. 一種熔爐，其包括：一壁；一頂；一固體及/或液體材料熔池；及定位在該壁中之如態樣1至態樣17所述之燃燒器，使得該第一燃燒器元件比該第二燃燒器元件更靠近熔池，並且該分級噴嘴比該第二燃燒器元件更靠近該頂。

【0022】 態樣19. 一種在一熔爐中運行如態樣1至態樣17所述之燃燒器的方法，該方法包括：使一總氧化劑流流向該燃燒器，該總氧化劑流由分配在該第一環形噴嘴與該第二環形噴嘴之間之一主要氧化劑流及提供至該分級噴嘴之一次要氧化劑流組成，其中該主要氧化劑流為該總氧化劑流的60%至95%，並且其中該主要氧化劑流以0.9至1.1之比分配在該第一環形噴嘴與該第二環形噴嘴之間；使一總燃料流流向該燃燒器，以及在一比例模式與一交替模式之間切換該燃燒器之運行；其中在該比例模式中，該總燃料流被分配在該第一內部噴嘴與該第二內部噴嘴之間，使得該第一燃燒器元件之當量比為1.05至1.5，且該第二燃燒器元件之當量比為1.05至1.5；並且其中在該交替模式中，分配在該第一內部噴嘴與該第二內部噴嘴之間之該總燃料流在一第一狀態與一第二狀態之間來回切換，在該第一狀態中該第一燃燒器元件處於主動而該第二燃燒器元件

處於被動，且在該第二狀態中該第一燃燒器元件處於被動而該第一燃燒器元件處於主動，其中一主動燃燒器元件以1.4至3之當量比來表徵，且一被動燃燒器元件以0.1至1之當量比來表徵；且其中當量比1表示燃料與氧化劑之化學計量比，大於1之當量比表示富燃料之化學計量比，且小於1之當量比表示貧燃料之化學計量比。

【0023】 習知氧燃料燃燒器技術係用於氧燃料燃燒器，該等氧燃料燃燒器通常係引向熔體處之單一火焰或在熔池表面上方之空間中燃燒。大多數目前提供之多火焰燃燒器可被安裝在反射熔爐之頂上。然而，在許多熔爐中，將燃燒器安裝在頂上具挑戰性，並且其等並非額定成以燃料彈性燃燒器運行。此外，下一代脫碳及溫室氣體排放較少之燃料可能需要一種燃燒器，該燃燒器可與傳統燃料如天然氣一起使用，同時亦可彈性地選擇合適之燃料類型，以便其等亦可與天然氣及氫之混合物或純氫一起運行。

【0024】 吾人亦判定熔化熔爐通常要求熱量在熔爐內均勻分佈，以改良熔爐之整體熔化特性。無焰燃燒係此一種幫助改良熱量分佈均勻性之方法。然而，無焰燃燒不會形成煙灰，歸因於沒有從煙灰至熔池之輻射熱傳遞，煙灰會減少至熔池表面之整體熱傳遞。吾人判定在熔化熔爐中希望增加從煙灰顆粒至熔體之輻射熱通量，同時亦改良熔爐內熱分佈之均勻性。重要的是，產生之煙灰量在熔爐體積內被完全氧化，並且沒有煙灰通過熔爐煙道排出。吾人之燃燒器設備之實施例可幫助解決此等挑戰。

【0025】 吾人之新燃燒器之實施例可組態為雙級暫態加熱燃燒器，幫助更好地將熱傳遞至熔池/熔體，並減少熔體過熱可能性。此外，燃燒器可是燃料彈性的，並且例如與脫碳燃料如氫及氫/天然氣混合物一起工作。此外，與習知氧燃料燃燒器相比，實施例可提供低氮氧化物（NO_x）排放，並且可利用可幫助節省運行成本的低壓氧。新燃燒器之實施例可與其他空氣燃料或氧燃料燃燒

器結合使用，或者作為熔化熔爐中之獨立氧燃料燃燒器使用，以改良熔爐運行，此可提供更快之熔化時間、增加之能量效率、燃料節省及潛在之產量增加。

【0026】 燃燒器之實施例可被結構化且組態為燃料分級及氧化劑分級兩者。與習知單燃料氧燃料燃燒器相比，雙級可幫助在熔爐內實現低NO_x生成。燃燒器之氧化劑分級可幫助減少熔池表面附近之氧，此可幫助避免熔池表面氧化。與空氣燃料或習知氧燃料燃燒器相比，避免或減少熔池表面氧化可在熔爐運行期間維持或改良熔爐產率。

【0027】 此外，新燃燒器之實施例可為燃料彈性的，並且與傳統燃料（例如天然氣）及低碳強度燃料（例如氫）及/或傳統與新興替代燃料之混合物一起工作。

【0028】 在無法接觸頂之工廠中，吾人之燃燒器之實施例可被結構化為側壁安裝式平火焰燃燒器，可提供安裝吾人之燃燒器之實施例的實際方法。此外，吾人之燃燒器之兩種組態（頂可安裝及側壁可安裝亦可被視為垂直定向及水平定向之燃燒器實施例）可在同一熔爐中一起使用，以改良工業熔化熔爐之整體功能。

【0029】 如上所述，吾人判定需要提供一種用於熔爐之燃燒器，該燃燒器可幫助減輕（若不避免）燃料燃燒期間NO_x之形成。燃燒器之一些實施例可經組態以允許燃燒器在預先存在之熔爐（例如，預先存在之反射熔爐（reverberatory furnace），其亦可被稱為反射熔爐（reverb furnace））中被改裝。燃燒器之實施例可經組態以取代預先存在之熔爐中之習知燃燒器，或者與預先存在之習知燃燒器結合使用，以提供改良之性能，同時亦提供減少之NO_x排放。其他實施例可用於完全取代熔爐之所有習知預先存在之燃燒器，或者包含在可經組態以提供暫態加熱之新熔爐設施內。

【0030】 在一些組態中，可提供實施例，因此燃燒器可定位在反射熔爐之側壁上，位於熔爐之熔池上方且在熔爐之頂板（或頂）下方。燃燒器可適於允許餽送至燃燒器之燃料完全為天然氣、完全為氫或氫與天然氣之混合物。其他實施例可利用燃料之不同混合物，可包含單獨之氫、與烴燃料（例如天然氣、油等）混合之氫以及僅基於烴之燃料（例如天然氣、油等）。在一些實施例中，燃燒器可定位成為定位在燃燒器下方之熔池中之金屬材料提供暫態加熱。在一些組態中，熔池內之金屬材料可為用於鋁熔化、鐵熔化或其他類型之金屬熔化運行的金屬。

【0031】 在一些實施例中，燃燒器可利用定位在氧化劑噴嘴下方之第一燃燒器元件及第二燃燒器元件，該氧化劑噴嘴被定位成輸出氧化劑流。第一燃燒器元件及第二燃燒器元件可各自包含用於發射燃料之內部開口及用於發射其中具有氧之氧化劑流之外部環形開口，該外部環形開口被定位成圍繞可發射燃料之內部開口。該第一燃料燃燒器元件及該第二燃料燃燒器元件可連接至燃料流控制歧管組件，該燃料流控制歧管組件經組態以向該第一燃燒器元件及該第二燃燒器元件提供燃料。例如，燃料可為氫氣、天然氣或天然氣與氫之混合物。用於該第一燃料燃燒器元件及該第二燃料燃燒器元件之外部開口可連接至用於輸出氧之氧化劑源。氧化劑源可為來自向燃燒器元件提供氧流之低溫空氣分離單元之輸出，或者可為其中可包含氧之氧化劑流之另一個源（例如，空氣、包含足夠濃度之氧之氣體混合物、包含足夠濃度之氧之流體混合物等）。第一燃燒器元件及第二燃燒器元件可配置成彼此預先選擇對準，以促進具有低NO_x排放概況之穩定火焰之形成。

【0032】 燃燒器元件亦可經配置且定位以與上部氧化劑噴嘴一起工作，使得提供預先選擇之燃料速度、預先選擇之氧化劑流速、預先選擇之燃料分級位準及預先選擇之氧化劑分級位準，以幫助促進具有低NO_x排放概況之穩定火

焰之形成。預先選擇配置可包含例如：(1)第一下燃燒器元件及第二上燃燒器元件在水平維度上沿着落在第一預先選擇定向臨限值內之壁的偏移定位，同時亦包含(2)第一燃燒器元件及第二燃燒器元件之間之垂直間距在第一預先選擇垂直間距臨限值內，以及(3)上第二燃燒器元件與頂部氧化劑噴嘴之間之垂直間距在第一預先選擇氧化噴嘴間距臨限值內，以及(4)下第一燃燒器元件與位於第一燃燒器元件下方之引燃火焰出口之間之垂直間距在第一預先選擇之引燃火焰間距臨限值內。燃燒器元件之不同噴嘴之長度及寬度亦可在預先選擇之長度及寬度範圍內，以與此等預先選擇之臨限值一起工作，從而幫助促進具有低NO_x排放概況之穩定火焰之形成。第一燃燒器元件及第二燃燒器元件亦可經組態以包含：範圍從-10°至10°之預先選擇俯仰，以提供傾斜、水平或下降之燃料及氧化劑流；以及預先選擇之水平方向，使得燃燒器元件可相對於直線在範圍從-20°至20°之水平角度（例如以0°之角度）將燃料及/或氧化劑流流出壁。

【0033】 包含在反射熔爐中之一或多個燃燒器之實施例可幫助限制熔池表面附近之氧。此一特徵可幫助減少或維持金屬浴氧化至基礎位準。實施例亦可提供氧流之低背壓，以避免需要為氧化劑流使用高壓氧源。例如，已發現一些實施例能夠減少多達50%之NO_x排放。可獲得此等改良結果，同時亦可改良熔爐運行之效率。在一些實施例中，例如，據信混合模式（在反射熔爐中用一個暫態加熱燃燒器代替一個空氣-燃料）下之熔爐運行效率可改良約9%，產量可增加約26%，並且可實現約26%之燃料節省。此等改良可實現，同時熔爐亦可適於與脫碳燃料源（例如氫作為燃料）一起工作，以除了減少NO_x排放之外亦減少碳排放。

【0034】 提供一種用於暫態加熱之設備。該設備可包含至少一個燃燒器，該燃燒器可定位在該用於暫態加熱之設備之一壁或一頂上，位於該用於暫態加熱之設備之一熔池上方。該至少一個燃燒器之各者可包含：一第一燃燒器

元件，其具有圍繞一第一內部燃料出口之一第一外部氧化劑流出口；一第二燃燒器元件，其具有圍繞一第二內部燃料出口之一第二外部氧化劑流出口，其中該第二燃燒器元件定位在該第一燃燒器元件上方；以及一上氧化劑流噴嘴，其定位在該第二燃燒器元件上方。

【0035】 該用於暫態加熱之設備之實施例可為一反射熔爐或其他類型之熔爐或暫態加熱裝置。該至少一個燃燒器可定位在該熔池上方該熔爐之一側壁上。該熔池可經定位以保持金屬用於熔化該金屬。該金屬可為鋁、鋼或其他類型之金屬。

【0036】 實施例可適於使得一或多個燃燒器具有特定之結構及配置。例如，用於一燃燒器之第一內部燃料出口可具有在燃燒器面平面10fp處量測之高度hf及長度L，並且第二內部燃料出口亦可具有在燃燒器面平面10fp處量測之高度hf及長度L。該第一外部氧化劑流出口之一頂部可與該第二外部氧化劑流出口之一底部垂直間隔一第一垂直間距H1，並且該第二外部氧化劑流出口之一頂部可與該上氧化劑流噴嘴之一氧化劑流出口之一底部垂直間隔一第二垂直間距H2，使得(a) $2 \leq H1/hf \leq 20$ 及(b) $2 \leq H2/hf \leq 20$ （其中「 $\leq$ 」為小於或等於）。該第二內部燃料出口及該第一內部燃料出口亦可配置成使得該第一內部燃料出口之一中心與該第二內部燃料出口之一中心水平地間隔一偏移距離B，使得 $0 \leq B/L \leq 1.5$ 。

【0037】 在一些實施例中，各燃燒器亦可包含定位在該第一燃燒器元件下方之引燃火焰口。該引燃火焰口之一頂部可與該第一外部氧化劑流出口之一底部垂直間隔一第三垂直間距H3，使得 $2 \leq H3/hf \leq 20$ 。

【0038】 該上氧化劑流噴嘴可具有一氧化劑流出口，該氧化劑流出口具有在該燃燒器面平面10fp處量測之長度X及在該燃燒器面平面10fp處量測之高度

Y，使得 $10 \leq X/Y \leq 40$ 及 $1 \leq X/L \leq 2.5$ 。其他實施例可利用該上氧化劑流噴嘴之氧化劑流出口之不同長度及高度規格。

【0039】 如上所述，該第一內部燃料出口可具有高度hf及長度L，並且該第二內部燃料出口亦可具有hf及L。該第二內部燃料出口及該第一內部燃料出口可配置成使得該第一內部燃料出口之一中心與該第二內部燃料出口之一中心水平地間隔一偏移距離B，使得 $0.0 \leq B/L \leq 1.5$ 。在此種實施例中，高度hf及長度L亦可被界定為使得 $5 \leq L/hf \leq 15$ 。

【0040】 該用於暫態加熱之設備之實施例亦可包含其他元件。例如，實施例可包含用於該第二燃燒器元件之該第二內部燃料出口之一餽送導管，該餽送導管相對於一引燃火焰餽送導管在其下線性延伸至該引燃火焰口之水平方向，以第一預先選擇水平角度從一第二燃燒器元件燃料餽送導管線性延伸至該第二燃燒器元件之該第二內部燃料出口。另外，可存在用於該第一內部燃料出口之一餽送導管，該餽送導管相對於該引燃火焰餽送導管在其下線性延伸至該引燃火焰口之水平方向，以第二預先選擇水平角度從一第一燃燒器元件燃料餽送導管線性延伸至該第一內部燃料出口。該第一預先選擇水平角度可在 $+5^\circ$ 至 $+20^\circ$ 或大於 0° 且小於或等於 20° 之範圍內，並且第二預先選擇水平角度可在 -5° 至 -20° 或小於 0° 且小於或等於 -20° 之範圍內。替代地，該第一預先選擇水平角度可在 -5° 至 -20° 或小於 0° 且小於或等於 -20° 之範圍內，並且該第二預先選擇水平角度可在 $+5^\circ$ 至 $+20^\circ$ 或大於 0° 且小於或等於 20° 之範圍內。可替代地，可利用用於該第一預先選擇水平角度及該第二預先選擇水平角度之其他角度範圍。

【0041】 該等燃燒器元件亦可被定向且定位以提供傾斜或下降之輸出。例如，該第一燃燒器元件及該第二燃燒器元件可經組態以包含範圍從 -10° 至 10° 之預先選擇俯仰，以提供傾斜、水平或下降之燃料及氧化劑流。例如，該等餽送導管或該第一內部燃料出口及該第二內部燃料出口之俯仰可大於 0° 且小於或

等於 $+10^{\circ}$ 或小於 0° 且大於或等於 -10° 。該第一燃燒器元件（及第一內部燃料出口）之俯仰可不同於該第二燃燒器元件（及第二內部燃料出口）之俯仰，或者該第一燃燒器元件及該第二燃燒器元件（及第一內部燃料出口及第二內部燃料出口）之俯仰可相同。該第一外部氧化劑流出口之俯仰可與該第一燃燒器元件及/或該第一內部燃料出口之俯仰相同，且該第二外部氧化劑流出口之俯仰可與該第二燃燒器元件及/或該第二內部燃料出口之俯仰相同（例如，其俯仰可在 -10° 至 $+10^{\circ}$ 之範圍內，等等）。

【0042】 作為另一個實例，該用於暫態加熱之設備之實施例亦可包含一控制系統，該控制系統被定位成控制該燃燒器之運行，以在一主動運行模式與一被動運行模式之間切換該燃燒器之該第一燃燒器元件及該第二燃燒器元件的運行模式。該控制系統可具有一反饋控制迴路，該反饋控制迴路被界定為基於來自定位在該設備中或經定位以偵測該設備中之一或多個狀況之感測器之感測器資料，在該第一燃燒器元件及該第二燃燒器元件的主動運行模式與被動模式之間進行選擇。

【0043】 亦提供一種運行用於暫態加熱之一設備的方法。該方法之實施例可包含將至少一個燃燒器定位在該用於暫態加熱之設備之一壁上，位於該用於暫態加熱之設備之一熔池上方。該至少一個燃燒器之各者可為上述燃燒器之實施例。例如，各燃燒器可包含：一第一燃燒器元件，其具有圍繞一第一內部燃料出口之一第一外部氧化劑流出口；一第二燃燒器元件，其具有圍繞一第二內部燃料出口之一第二外部氧化劑流出口，其中該第二燃燒器元件定位在該第一燃燒器元件上方；以及一上氧化劑流噴嘴，其定位在該第二燃燒器元件上方。

【0044】 該方法之實施例可包含其他步驟。例如，該方法亦可包含啟動至少一個燃燒器，使得第一燃燒器元件及第二燃燒器元件處於主動模式，使得

第一燃燒器元件及第二燃燒器元件以1.05與1.5之間之當量比運行。作為另一個實例，在用於暫態加熱之設備在高於餽送至至少一個燃燒器之燃料之自燃溫度的預先選擇運行溫度下運行之後，第一燃燒器元件可從主動模式切換至被動模式。此後，該第一燃燒器元件可從被動模式切換至主動模式，而該第二燃燒器元件在第一預先選擇時間段之後從主動模式切換至被動模式。主動模式可為在其下當量比在1.4與3.0之間之模式，且被動模式可為在其下當量比在0.1與1.0之間之模式。

【0045】 該方法之實施例亦可包含運行該至少一個燃燒器，使得：(1)從上氧化劑流噴嘴之氧化劑流出口輸出之氧化劑在來自燃燒器之整體氧化劑流率的5體積%與40體積%之間，(2)並且從第一燃燒器元件輸出之氧化劑之流率在從第二燃燒器元件輸出之氧化劑之氧化劑流率的10%之內。

【0046】 亦提供一種用於暫態加熱設備之一燃燒器之實施例。該燃燒器之實施例可包含上述燃燒器之實施例。例如，該燃燒器可包含：一第一燃燒器元件，其具有圍繞一第一內部燃料出口之一第一外部氧化劑流出口；一第二燃燒器元件，其具有圍繞一第二內部燃料出口之一第二外部氧化劑流出口，其中該第二燃燒器元件定位在該第一燃燒器元件上方；以及一上氧化劑流噴嘴，其定位在該第二燃燒器元件上方。該燃燒器之實施例亦可包含如上所述之其他元件及特徵。

【0047】 例如，用於熔爐之暫態加熱之燃燒器可包含一燃燒器面，當該燃燒器被安裝在該熔爐中時，該燃燒器面經組態以可定位在該熔爐之一內表面處。該燃燒器面可界定一燃燒器面平面。該燃燒器亦可包含一第一燃燒器元件及一第二燃燒器元件，該第一燃燒器元件具有一第一環形噴嘴，該第一環形噴嘴經組態以使主要氧化劑圍繞經組態以使燃料流動之一第一內部噴嘴流動，且該第二燃燒器元件具有一第二環形噴嘴，該第二環形噴嘴經組態以使主要氧化

劑圍繞經組態以使燃料流動之一第二內部噴嘴流動。該第二燃燒器元件可定位成鄰近該第一燃燒器元件並與該第一燃燒器元件間隔開。一分級噴嘴可經組態以使次要氧化劑流動。該分級噴嘴可被定位成鄰近該第二燃燒器元件並與該第二燃燒器元件間隔開，使得該第二燃燒器元件可定位在該分級噴嘴與該第一燃燒器元件之間。該第一內部噴嘴及該第二內部噴嘴各自可具有由在該燃燒器面平面處量測之一長軸線長度 L 界定的一長軸線、由在該燃燒器面平面處量測之一短軸線高度 hf 界定的一短軸線、及 $5 \leq L/hf \leq 15$ 之燃料噴嘴長寬比。該分級噴嘴可具有由在該燃燒器面平面處量測之一長軸線長度 X 界定之一長軸線，及由在該燃燒器面平面處量測之一短軸線高度 Y 界定之一短軸線。該第一內部噴嘴之該長軸線、該第二內部噴嘴之該長軸線及該分級噴嘴之該長軸線可在小於或等於 5° 之偏差範圍內實質上彼此平行。

【0048】 該第一燃燒器元件及該第二燃燒器元件及該分級噴嘴之不同尺寸可適於滿足一組預先選擇之設計標準。例如，可選擇分級噴嘴之長度及高度，使得分級噴嘴具有 $10 \leq X/Y \leq 40$ 之長寬比。該等燃燒器元件及該分級噴嘴亦可定大小且經組態使得 $1 \leq X/L \leq 2.5$ 。

【0049】 該等燃燒器元件及該分級噴嘴亦可彼此間隔開，以滿足預先選擇之設計標準。例如，第二燃燒器元件可與第一燃燒器元件間隔一距離 $H1$ ，其中 $2 \leq H1/hf \leq 20$ ，並且該分級噴嘴可與該第二燃燒器元件間隔一距離 $H2$ ，其中 $2 \leq H2/hf \leq 20$ 。該燃燒器亦可包含一引燃火焰口，該引燃火焰口定位成鄰近該第一燃燒器元件並與該第一燃燒器元件間隔一距離 $H3$ ，其中 $2 \leq H3/hf \leq 20$ 。

【0050】 該等燃燒器元件亦可具有其他空間設計標準。例如，該第一內部噴嘴之該短軸線與該第二內部噴嘴之該短軸線亦可偏移距離 B ，其中 $0 < B/L$

≤ 1.5 。該第一內部噴嘴之該短軸線與該第二內部噴嘴之該短軸線可在小於或等於 5° 之偏差範圍內實質上彼此平行。

【0051】 作為可用於燃燒器之空間及定大小設計標準之又一實例，燃燒器亦可包含如上所述之一引燃火焰口。該引燃火焰口可定位在該第一燃燒器元件下方。該引燃火焰口之一頂部可與第一環形噴嘴之一底部垂直間隔一第三垂直間距 $H3$ ，使得 $2 \leq H3/hf \leq 20$ 。該第二燃燒器元件之一底部可與該第一環形噴嘴之一頂部間隔一第一垂直距離 $H1$ ，其中 $2 \leq H1/hf \leq 20$ 。該分級噴嘴之一底部可與該第二環形噴嘴之一頂部間隔一第二垂直距離 $H2$ ，其中 $2 \leq H2/hf \leq 20$ 。該第一內部噴嘴之該短軸線與該第二內部噴嘴之該短軸線可偏移一距離 B ，其中 $0 < B/L \leq 1.5$ 。該第一內部噴嘴之該短軸線與該第二內部噴嘴之該短軸線可在小於或等於 5° 之偏差範圍內實質上彼此平行。

【0052】 該燃燒器亦可包含燃料導管，該等燃料導管可將燃料供應至該第一燃燒器元件及該第二燃燒器元件之第一內部噴嘴及第二內部噴嘴。例如，可存在經組態以向第一內部噴嘴供應燃料之第一燃料導管。該第一燃料導管可具有與第一燃料導管中之燃料流動方向對準之縱向軸線。該縱向軸線可相對於垂線以角度 α 與該燃燒器面平面相交，並且相對於該第一內部噴嘴之該長軸線成互補角 $(90^\circ - \alpha)$ 。一第二燃料導管可經組態以向第二內部噴嘴供應燃料。該第二燃料導管可具有與第二燃料導管中之燃料流動方向對準之縱向軸線。該第二燃料導管之該縱向軸線可相對於垂線以角度 α 與該燃燒器面平面相交，並且相對於該第二內部噴嘴之該長軸線成互補角 $(90^\circ - \alpha)$ 。第一燃料導管之縱向軸線及第二燃料導管之縱向軸線可相對於彼此成角度 2α 或其他預先選擇之角度值。在一些組態中，角度 α 可在 $0 < \alpha \leq 20^\circ$ 或 $5^\circ < \alpha \leq 20^\circ$ 的範圍內。

【0053】 經組態以向具有與第一燃料導管中之燃料流動方向對準之縱向軸線之第一內部噴嘴供應燃料的第一燃料導管亦可被結構化使得該縱向軸線可

相對於垂線以角度 β 與燃燒器面平面相交，並且相對於該第一內部噴嘴之短軸線成互補角($90^\circ - \beta$)。例如，此一組態可向第一燃料導管提供俯仰。經組態以向具有與第二燃料導管中之燃料流動方向對準之縱向軸線之第二內部噴嘴供應燃料的第二燃料導管亦可被結構化使得該縱向軸線可相對於垂線以角度 β 與燃燒器面平面相交，並且相對於該第二內部噴嘴之短軸線成互補角($90^\circ - \beta$)。在此類組態中，第一燃料導管之縱向軸線及第二燃料導管之縱向軸線可各自與分級噴嘴成角度，且角度 β 可在 $0 < \beta \leq 10^\circ$ 或 $0 < \beta \leq 5^\circ$ 之範圍內。

【0054】 一總燃料流及一總氧化劑流可以一當量比提供至該燃燒器，其中當量比1表示燃料與氧化劑之化學計量比，大於1之當量比表示富燃料之化學計量比，小於1之當量比表示貧燃料之化學計量比。一控制器可經程式化以獨立地控制至該第一內部噴嘴及該第二內部噴嘴之各者之燃料流，並且控制總氧化劑流之分佈，使其由分配在該第一環形噴嘴與該第二環形噴嘴之間之一主要氧化劑流及提供至該分級噴嘴之一次要氧化劑流組成，使得該主要氧化劑流為該總氧化劑流的60%至95%，並且該次要氧化劑流為該總氧化劑流的剩餘部分（例如，該總氧化劑流的5%至40%）。該主要氧化劑流亦可在第一環形噴嘴與第二環形噴嘴之間以0.9至1.1之比分配。

【0055】 該控制器亦可經程式化以按一比例模式運行該燃燒器，其中該總燃料流被供應至該第一內部噴嘴及該第二內部噴嘴，使得該第一燃燒器元件之當量比為1.05至1.5，且該第二燃燒器元件之當量比為1.05至1.5。

【0056】 該控制器可經程式化以一交替模式運行燃燒器。例如，該控制器可經程式化以在一交替模式下運行燃燒器，其中該第一內部噴嘴與該第二內部噴嘴之間之該總燃料流的分配在一第一狀態與一第二狀態之間來回切換，在該第一狀態中該第一燃燒器元件處於主動而該第二燃燒器元件處於被動，且在該第二狀態中該第一燃燒器元件處於被動而該第一燃燒器元件處於主動。一主

動燃燒器元件可以1.4至3之當量比來表徵，且一被動燃燒器元件可以0.1至1之當量比來表徵。該控制器可經程式化以基於預定時間段之流逝及來自經定位以偵測該熔爐中之至少一個狀況的至少一個感測器之資料中的一或多者，在該第一狀態與該第二狀態之間切換。

【0057】 該第一環形噴嘴及該第二環形噴嘴可各自具有與該第一內部噴嘴及該第二內部噴嘴之長軸線及短軸線分別重合的一長軸線及一短軸線。該第一環形噴嘴及該第二環形噴嘴之各者之短軸線可由高度 h_o 界定。燃料可以一燃料速度離開該第一內部噴嘴及該第二內部噴嘴之各者，主要氧化劑可以一主要氧化劑速度離開該第一環形噴嘴及該第二環形噴嘴之各者，並且比 h_o/h_f 可定大小以產生從1至4之燃料速度與主要氧化劑速度之比。

【0058】 亦提供一種熔爐。該熔爐可包含一壁、一頂、一固體及/或液體材料熔池、及定位在該壁中之燃燒器之一實施例，使得該第一燃燒器元件比該第二燃燒器元件更靠近熔池，並且該分級噴嘴比該第二燃燒器元件更靠近該頂。例如，熔爐中使用之燃燒器之實施例可為本文所述之任何實施例。

【0059】 亦提供一種在一熔爐中運行一燃燒器之方法。該方法可包含使一總氧化劑流流向該燃燒器，該總氧化劑流由分配在該第一環形噴嘴與該第二環形噴嘴之間之一主要氧化劑流及提供至該分級噴嘴之一次要氧化劑流組成，其中該主要氧化劑流為該總氧化劑流的60%至95%，並且其中該主要氧化劑流以0.9至1.1之比分配在該第一環形噴嘴與該第二環形噴嘴之間。該次要氧化劑流可為該總氧化劑流的40%至5%。該方法亦可包含使一總燃料流流向該燃燒器。

【0060】 該方法亦可包含在一比例模式與一交替模式之間切換該燃燒器之運行。當處於比例模式時，該總燃料流可被分配在該第一內部噴嘴與該第二內部噴嘴之間，使得該第一燃燒器元件之當量比為1.05至1.5，且該第二燃燒器

元件之當量比為1.05至1.5。當處於交替模式中，分配在該第一內部噴嘴與該第二內部噴嘴之間之該總燃料流可在一第一狀態與一第二狀態之間來回切換，在該第一狀態中該第一燃燒器元件處於主動而該第二燃燒器元件處於被動，且在該第二狀態中該第一燃燒器元件處於被動而該第二燃燒器元件處於主動，且其中一主動燃燒器元件以1.4至3之當量比來表徵，且一被動燃燒器元件以0.1至1之當量比來表徵；在該方法之此種實施例中，當量比1表示燃料與氧化劑之化學計量比，大於1之當量比表示富燃料之化學計量比，且小於1之當量比表示貧燃料之化學計量比。

【0061】 隨着對暫態加熱之方法、用於暫態加熱之設備、用於反射熔爐之燃燒器及其製造與使用方法之某些例示性實施例之以下描述之進行，其其他細節、目的及優點將變得顯而易見。

【圖式簡單說明】

【0062】 附圖中展示用於暫態加熱之燃燒器及其製造與使用方法的例示性實施例。附圖中相似之參考字符標識相似之組件。

【0063】 圖 1 係反射熔爐 1 的示意性透視圖，其中暫態加熱燃燒器 10 被安裝在側壁 6 中。

【0064】 圖 2 係暫態加熱燃燒器 10 之第一例示性實施例的正視透視圖。

【0065】 圖 3 係圖 2 中燃燒器 10 之第一例示性實施例的示意性俯視橫截面圖。

【0066】 圖 4 係圖 2 中燃燒器 10 之第一例示性實施例的另一示意性橫截面圖。

【0067】 圖 5 係用於向燃燒器 10 之第一例示性實施例之第一燃燒器元件 13 及第二燃燒器元件 15 餽送燃料之例示性燃料導管配置的示意圖。

【0068】 圖 6 係燃燒器 10 之第一例示性實施例的正視圖。

【0069】 圖 7 係圖 6 及圖 8 中用圓圈 F7 圈出之第二上燃燒器元件 15 的片段放大圖。

【0070】 圖 8 係燃燒器 10 之第一例示性實施例的正視圖。

【0071】 圖 9 係類似於圖 6 及圖 8 之視圖之燃燒器 10 之第一例示性實施例的正視圖，並且繪示第一燃燒器元件 13 及第二燃燒器元件 15 之替代定向的實例。

【0072】 圖 10 繪示來自熔爐中燃燒器 10 之實施例之計算流體動力學評估的結果。

【0073】 圖 11 繪示來自熔爐中燃燒器 10 之實施例之計算流體動力學評估的結果。

【0074】 圖 12 係根據熔爐中之空氣洩漏百分比以磅/百萬英制熱單位 (lbs/MMBtu) 比較習知氧燃料燃燒器與暫態加熱燃燒器之實施例之正規化 NO_x 的曲線圖。

【實施方式】

【0075】 如從圖 2 至圖 9 最佳可見，暫態加熱燃燒器 10 可包含複數個燃燒器元件，並且被定位在可輸出引燃火焰之下引燃火焰口 11 與可從氧化劑流出口 17 輸出氧化劑流之分級噴嘴 17 之間，該氧化劑流出口界定在燃燒器 10 之主體之熱側 10h 中。燃燒器 10 之主體之熱側 10h 可被定位成在熔池 2 上方面

向用於暫態加熱之設備的腔室之內部。對於一些實施例，分級噴嘴 17 亦可稱為上氧化劑流噴嘴 17。

【0076】 複數個燃燒器元件可包含第一燃燒器元件 13，該第一燃燒器元件與上第二燃燒器元件 15 間隔開。第一下燃燒器元件 13 可位於下引燃火焰口 11 與第二燃燒器元件 15 之間。第二燃燒器元件 15 可定位在第一燃燒器元件 13 與分級噴嘴 17（例如，上氧化劑流噴嘴 17）之間。

【0077】 下第一燃燒器元件 13 可包含第一內部噴嘴 13IN，該第一內部噴嘴具有第一內部燃料出口 13f，該第一內部燃料出口可將燃料流輸出至在熔池 2 上方且在第二上燃燒器元件 15 下方的腔室中。第一內部噴嘴 13IN 之第一內部燃料出口 13f 可被第一燃燒器元件 13 之第一環形噴嘴 13AN 之第一外部氧化劑流出口 13o 圍繞（例如，第一內部燃料出口 13f 之周邊可被第一外部氧化劑流出口 13o 完全圍繞或環繞）。第一外部氧化劑流出口 13o 可將氧化劑流輸出至熔池 2 上方的腔室中。從第一燃燒器元件 13 之內部燃料出口 13f 輸出之燃料可在預先選擇之第一燃燒器元件燃料流率範圍內，並且從第一外部氧化劑流出口 13o 輸出之氧化劑流可在預先選擇之第一燃燒器元件氧化劑流率範圍內。從第一外部氧化劑流出口 13o 輸出之氧化劑流可具有在預先選擇之第一燃燒器元件氧化劑流氧濃度範圍內的預先選擇氧濃度。在一些實施例中，從第一外部氧化劑流出口 13o 輸出之氧化劑流之氧濃度可為 90 體積%（體積%）氧至 100 體積%氧。其他實施例可利用 21 體積%至 100 體積%氧之氧濃度。又一些實施例可利用小於 21 體積%氧且大於 10 體積%氧之氧濃度，或者至少 26 體積%氧、至少 40 體積%氧、至少 70 體積%氧或至少 98 體積%氧之濃度。

【0078】 第二燃燒器元件 15 可包含定位在第二環形噴嘴 15AN 內部的第二內部噴嘴 15IN（例如，第二環形噴嘴可圍繞第二內部噴嘴）。例如，第二內部噴嘴 15IN 可具有第二內部燃料出口 15f，該第二內部燃料出口可將燃料流輸出至熔池上方之腔室中。第二燃燒器元件 15 之第二內部燃料出口 15f 可被第二燃燒器元件 15 之第二環形噴嘴 15AN 圍繞，該第二環形噴嘴可經組態以具有第二外部氧化劑流出口 15o。第二環形噴嘴 15AN 可將氧化劑流輸出至熔池 2 上方之腔室中（例如，第二內部燃料出口 15f 之周邊可被第二外部氧化劑流出口 15o 完全圍繞或環繞）。從第二燃燒器元件 15 之內部燃料出口 15f 輸出之燃料可在預先選擇之第二燃燒器元件燃料流率範圍內，並且從第二外部氧化劑流出口 15o 輸出之氧化劑流可在預先選擇之第二燃燒器元件流率範圍內。從第二外部氧化劑流出口 15o 輸出之氧化劑流可具有在預先選擇之第二燃燒器元件氧化劑流氧濃度範圍內的預先選擇氧濃度。在一些實施例中，從第二外部氧化劑流出口 15o 輸出之氧化劑流之氧濃度可為 90 體積%（體積%）氧至 100 體積%氧。其他實施例可利用 21 體積%至 100 體積%氧之氧濃度。又一些實施例可利用小於 21 體積%氧且大於 10 體積%氧之氧濃度，或者至少 26 體積%氧、至少 40 體積%氧、至少 70 體積%氧或至少 98 體積%氧之濃度。

【0079】 分級噴嘴 17 可組態成氧化劑流噴嘴 17，該氧化劑流噴嘴可包含氧化劑流出口 17o，該氧化劑流出口以可在預先選擇之較高氧化劑流率範圍內的流率輸出氧化劑流。來自第一氧化劑噴嘴 13o、第二氧化劑噴嘴 15o 及分級噴嘴 17 中之各者之氧化劑流通常具有 21 體積%至 100 體積%之分子氧(O₂)的體積濃度。更一般言之，氧化劑可為空氣、污染空氣（即，具有小於約 20.9% 氧之氣體）、富氧空氣（即，具有大於約 20.9% 氧之氣體）或基本上純氧

(2024 年 4 月修正)

(即，具有約 100%氧之氣體)。在較佳實施例中，氧化劑係氧濃度為至少 26 體積%氧、至少 40 體積%氧、至少 70 體積%氧或至少 98 體積%氧的富氧空氣。

【0080】 如圖 3 及圖 4 所示，燃料及氧化劑藉由從燃燒器面 10f (燃燒器之熱側 10h) 向後延伸通過燃燒器主體並向外超過後側 10c 的導管供應至燃燒器 10。氧化劑通過氧化劑導管供應至燃燒器，並餽送至氧化劑增壓室中，該氧化劑增壓室用作歧管以將氧化劑分配至第一環形噴嘴 13AN、第二環形噴嘴 15AN 及分級噴嘴 17。大致相等流率之氧化劑被分配至第一環形噴嘴 13AN 及第二環形噴嘴 15AN 中之各者，而分配至分級噴嘴 17 之氧化劑之量由閥 (未展示) 控制。

【0081】 用於第一燃燒器元件 13 之燃料被供應至第一燃料導管 13c，該第一燃料導管界定延伸通過第一內部噴嘴 13IN 之縱向軸線 13L。用於第二燃燒器元件 15 之燃料被供應至第二燃料導管 15c，該第二燃料導管界定延伸通過第二內部噴嘴 15IN 之縱向軸線 15L。

【0082】 燃料藉由如圖 5 所示之流控制配置供應至燃燒器元件 13 及 15。燃料供應源 28 向具有閥 30 及繞過閥 30 之旁路 31b 的第一流系提供燃料，並向具有閥 30 及繞過閥 30 之旁路 31b 的第二流系提供燃料。

【0083】 如圖 6A 及圖 6B 所示，第一流系向第一燃燒器元件 13 之第一內部噴嘴 13IN 供應燃料，而第二流系向第二燃燒器元件 15 之第二內部噴嘴 15IN 供應燃料。

【0084】 當第一流系之閥 30 打開並且燃料流過第一流系之閥 30 及其對應旁路 31b 兩者時，流向第一內部噴嘴 13IN 之燃料流大於當閥 30 關閉並且燃

料僅流過旁路 31b 時之燃料流。類似地，當第二流系之閥 30 打開並且燃料流過第二流系之閥 30 及其對應旁路 31b 兩者時，流向第二內部噴嘴 15IN 之燃料流大於當閥 30 關閉並且燃料僅流過旁路 31b 時之燃料流。

【0085】 兩個閥 30 由控制器 CTRL 控制，該控制器經程式化以按閥 30 之至少一者始終打開且有時兩個閥 30 均打開的方式運行燃燒器 10。當第一流系之閥 30 打開而第二流系之閥 30 關閉時，第一燃燒器元件 13 處於主動模式，而第二燃燒器元件 15 處於被動模式；且反之，當第一流系之閥 30 關閉而第二流系之閥 30 打開時，第一燃燒器元件 13 處於被動模式，而第二燃燒器元件 15 處於主動模式。當兩個閥 30 均打開時，兩個燃燒器元件 13 及 15 均處於主動模式。燃燒器 10 通常不在兩個閥 30 均關閉時運行，因為此預期非為有用之運行模式（即便若後來其被判定有用，控制器 CTRL 可經程式化以包含燃燒器 10 之該運行模式）。

【0086】 燃料被單獨供應至連接至引燃火焰口之引燃導管 24，該引燃火焰口用於點燃目的且用於在熔爐低於燃料之自燃溫度時使用。

【0087】 燃燒器 10 之冷卻器側 10c 可與熱側 10h 相對。從圖 3 至圖 5 可最佳明白，燃燒器 10 之冷卻器側 10c 可包含導管之配置，燃料及氧化劑流可通過該配置被輸送至下引燃火焰口 11、第一燃燒器元件 13 及第二燃燒器元件 15 以及分級噴嘴 17（對於所示實施例，其可被視為上氧化劑流噴嘴 17）。例如，燃料可從燃料控制歧管 28 輸出，以將燃料餽送至第一燃燒器元件燃料餽送導管 29a 及第二燃燒器元件燃料餽送導管 29b，以將燃料餽送至燃燒器之第一燃燒器元件 13 及第二燃燒器元件 15 之第一內部噴嘴及第二內部噴嘴。

【0088】 氧化劑流可經由氧供應導管餽送至第一燃燒器元件 13、第二燃燒器元件 15 及分級噴嘴 17（例如上氧化劑流噴嘴 17），該等氧供應導管將含氧氧化劑流體從氧源提供至第一燃燒器元件 13 之第一環形噴嘴 13AN、第二燃燒器元件 15 之第二環形噴嘴 15AN 及分級噴嘴 17，因此氧化劑流可從第一外部氧化劑流出口 13o、第二外部氧化劑流出口 15o 及分級噴嘴 17 輸出。氧源之實例可為輸出可餽送至噴嘴之一或多個氧流的低溫空氣分離單元，或者可輸出至少一個氧流的真空擺動吸附（VSA）單元。用於氧化劑流之氧化劑之其他源可為可向燃燒器提供氧化劑流的其他工廠單元（例如，用於餽送空氣作為氧化劑流之壓縮機、用於餽送富氧空氣作為氧化劑流之壓縮機等）。

【0089】 燃燒器 10 能夠以任何氣體燃料運行，包含但不限於天然氣（即，主要是甲烷）、氫或任何所期望比例之天然氣及氫的摻和物。在一些實施例中，由燃料控制歧管 28 提供之燃料可包含天然氣、氫或氫與天然氣之混合物。例如，氫源 26 及天然氣源 25 可經由餽送導管連接至燃料控制歧管 28，以將氫及/或天然氣餽送至燃料控制歧管 28。燃料控制歧管可經組態以保持燃料及/或混合燃料（例如，當氫及天然氣兩者被餽送至燃料控制歧管以提供包含氫及天然氣作為燃料的燃料時，將氫及天然氣混合），並且經由閥及一或多個容器之配置將燃料餽送至一或多個燃料餽送導管。燃料控制歧管 28 可經由燃料餽送導管（例如，第一燃燒器元件燃料餽送導管 29a、第二燃燒器元件燃料餽送導管 29b 等）連接至燃燒器 10 之第一燃燒器元件 13 及第二燃燒器元件 15 以餽送燃料，因此燃料可經由各燃燒器元件之內部噴嘴的內部燃料開口輸出。

【0090】 第一燃燒器元件餽送導管 29a 及第二燃燒器元件燃料餽送導管 29b 可各自包含導管配置及控制閥 30，因此至少最小量之燃料被餽送至餽送導

管所連接的內部燃料噴嘴開口。例如，從燃料控制歧管 28 接收之燃料可被傳遞至燃燒器元件餽送導管之上游燃料餽送導管段 31a，因此燃料可沿旁路流導管段 31b 及/或通過控制閥 30 傳遞至連接至內部燃料噴嘴開口的下游導管段 31c，以將燃料輸出至熔池 2 上方之腔室中。上游燃料餽送導管段 31a 可定位在控制閥 30 與燃料控制歧管 28 之間，因此其位於控制閥 30 之上游及燃料控制歧管 28 之下游。旁路流導管段 31b 可位於上游燃料餽送導管段 31a 與下游燃料餽送導管段 31c 之間，因此來自上游燃料餽送導管段 31a 之燃料可傳遞至下游導管段 31c 而不必流過控制閥 30。下游導管段 31c 可位於燃料餽送導管所連接之燃燒器元件之內部噴嘴與控制閥 30 之間。下游導管段 31c 亦可位於燃料餽送導管所連接之內部噴嘴與旁路流導管段 31b 之出口之間。

【0091】 為了增加熔爐之火焰覆蓋範圍，第一燃燒器元件 13 可在一個或兩個方向上成角度，即相對於其長軸線及/或相對於其短軸線成角度。類似地，第二燃燒器元件 15 可在一個或兩個方向上成角度，即相對於其長軸線及/或相對於其短軸線成角度。

【0092】 從圖 3 及圖 4 可最佳明白，第一燃燒器元件 13 及第二燃燒器元件 15 可對準，使得從此等燃燒器元件之第一內部噴嘴及第二內部噴嘴中之各者輸出之燃料流相對於居中、直角呈水平角度 α （例如，相對於在其上安裝燃燒器之壁面呈 0° 角度，或者引燃火焰在其下經由引燃火焰口 11 輸出用於該火焰之燃料的角度）。水平角度 α 可在 $\pm 5^\circ$ 至 $\pm 20^\circ$ 之範圍內。

【0093】 可界定或判定水平角度 α 之下限及上限，使得燃料在其離開熔爐之前完全燃燒。若夾角過大，則燃料及氧化劑將無法在熔爐體積內適當混合。若角度過低，則兩個火焰可能不足以覆蓋熔爐寬度，在熔爐中留下冷點。

噴嘴之間之最終角度可由熔爐寬度判定。此外，熔爐寬度係判定此水平角度 α 之另一個參數。寬度可影響所期望水平角度 α ，因為期望其防止從噴嘴輸出之火焰衝擊熔爐壁。

【0094】 例如，用於第二燃燒器元件 15 之第二內部燃料出口 15f 之餽送導管 15c 可相對於在其下引燃火焰餽送導管 11c 線性延伸至引燃火焰口 11 之水平方向，以水平角度 α 從第二燃燒器元件燃料餽送導管 29b 線性延伸至第二燃燒器元件 15 之第二內部燃料出口 15f。此水平角度可被視為第一預先選擇水平角度或第二燃燒器元件 15 之預先選擇水平角度。應明白，餽送導管 15c 之至少一部分可包含下游導管段 31c，或者完全是此段。

【0095】 用於第二燃燒器元件 15 之水平角度 α 亦可被視為用於第二燃燒器元件 15 之餽送導管 15c 之縱向軸線 15L 在其下相對於垂線與燃燒器面平面 10fp 相交之角度 α ，並且該縱向軸線相對於第二燃燒器元件 15 之第二內部噴嘴 15IN 之長軸線（例如，第二內部燃料出口 15f 之長度 L）成互補角($90^\circ - \alpha$)。角度 α 可大於 0° 且小於或等於 20° ，或者在一些實施例中，小於 0° 且大於或等於 -20° 。

【0096】 作為另一個實例，用於第一燃燒器元件 13 之第一內部燃料出口 13f 之餽送導管 13c 可相對於在其下引燃火焰餽送導管 11c 線性延伸至引燃火焰口 11 之水平方向，以水平角度 α 從第一燃燒器元件燃料餽送導管 29a 線性延伸至第一燃燒器元件 13 之第一內部燃料出口 13f。此水平角度可被視為第二預先選擇水平角度或第一燃燒器元件 13 之預先選擇水平角度。水平角度 α 可在 $\pm 5^\circ$ 至 $\pm 20^\circ$ 之範圍內。應明白，餽送導管 15c 之至少一部分可包含下游導管段 31c，或者完全是此段。

【0097】 用於第一燃燒器元件 13 之水平角度 α 亦可被視為用於第一燃燒器元件 13 之餽送導管 13c 之縱向軸線 13L 在其下相對於垂線與燃燒器面平面 10fp 相交的角度 α ，並且該縱向軸線相對於第一燃燒器元件 13 之第一內部噴嘴 13IN 之長軸線（例如，第一內部燃料出口 13f 之長度 L）成互補角($90^\circ - \alpha$)。在一些實施例中，角度 α 可大於 0° 且小於或等於 20° ，或者在一些實施例中，小於 0° 且大於或等於 -20° 。

【0098】 用於第二燃燒器元件 15 之餽送導管 15c 之縱向軸線 15L 可為在燃料流方向上延伸之軸線，該燃料流方向可為燃料在其下通過餽送導管 15c 以從第二內部噴嘴 15IN 之第二內部燃料出口 15f 輸出的方向。此外，用於第一燃燒器元件 13 之餽送導管 13c 之縱向軸線 13L 可為在燃料流方向上延伸之軸線，該燃料流方向可為燃料在其下通過餽送導管 13c 以從第一內部噴嘴 13IN 之第一內部燃料出口 13f 輸出的方向。在此一配置中，縱向軸線 13L 及 15L 可與通過餽送導管 13c 及 15c 之燃料之燃料流方向對準，以從第一內部噴嘴 13IN 及第二內部噴嘴 15IN 輸出。

【0099】 如從圖 3 及圖 4 可明白，在一些實施例中，用於第二內部燃料出口 15f 之餽送導管 15c 在其下線性延伸的水平角度 α 可在 -5° 至 -20° 之範圍內，並且用於第一內部燃料出口 13f 之餽送導管 13c 在其下線性延伸的水平角度 α 可在 5° 至 20° 之範圍內。在其他實施例中，用於第二內部燃料出口 15f 之餽送導管 15c 在其下線性延伸的水平角度 α 可在 5° 至 20° 之範圍內，並且用於第一內部燃料出口 13f 之餽送導管 13c 在其下線性延伸的水平角度 α 可在 -5° 至 -20° 之範圍內。

【0100】 應明白，對於第一燃燒器元件 13 及第二燃燒器元件 15，水平角度 α 之值可為相同標稱值（例如，對於燃燒器元件，當角度 α 為 5° 及 -5° 時，角度 α 之相同標稱值為 5° ，等等）。在此種實施例中，用於第一燃燒器元件 13 之餽送導管 13c 之縱向軸線 13L 可相對於用於第二燃燒器元件 15 之餽送導管 15c 之縱向軸線 15L 傾斜一個角度，該角度為角度 α 之標稱值之兩倍（例如為 2α ，或 $2*\alpha$ ）。

【0101】 用於第二內部燃料出口 15f 之餽送導管 15c 可經定位以線性延伸，因此當導管 15c 從第二噴嘴燃料餽送導管 29b 延伸至第二內部燃料出口 15f 時，該導管處於水平定向（例如沒有俯仰）。替代地，用於第二內部燃料出口 15f 之餽送導管 15c 可被定位成沿垂直角度線性延伸（例如，相對於水平具有高達 $\pm 10^\circ$ 之俯仰）。用於第二內部燃料出口 15f 之餽送導管 15c 可在其下沿着延伸之垂直角度可被視為俯仰。該俯仰亦可稱為角度 β ，該角度 β 係餽送導管 15c 之縱向軸線 15L 可在其下相對於垂線與由第二燃燒器元件之第二內部噴嘴 15IN 之長軸線及短軸線界定的平面（例如，由第二內部燃料出口 15f 之長度 L 及高度 hf 界定的平面）相交的角度，並且該縱向軸線相對於第二內部噴嘴 15IN 之短軸線（例如，第二內部燃料出口 15f 之高度 hf）成互補角 $(90^\circ - \beta)$ 。相對於沒有垂直方向分量之水平定向，俯仰（或角度 β ）可高達 $+10^\circ$ ，或者，相對於沒有垂直方向分量之水平定向，俯仰可高達 -10° ，因此導管 15c 沿 -10° 至 $+10^\circ$ 範圍之垂直俯仰線性延伸。

【0102】 用於第一內部燃料出口 13f 之餽送導管 13c 可經定位以線性延伸，因此當導管 13c 從第一噴嘴燃料餽送導管 29a 延伸至第一內部燃料出口 13f 時，該導管處於水平定向（例如沒有俯仰）。替代地，用於第一內部燃料出口

13f 之餽送導管 13c 可被定位成沿垂直角度線性延伸（例如，相對於水平具有高達 $\pm 10^\circ$ 之俯仰）。用於第一內部燃料出口 13f 之餽送導管 13c 可在其下沿着延伸之垂直角度可被視為俯仰。該俯仰亦可稱為角度 β ，該角度 β 係餽送導管 13c 之縱向軸線 13L 可在其下相對於垂線與由第一燃燒器元件之第一內部噴嘴 13IN 之長軸線及短軸線界定的平面（例如，由第一內部燃料出口 13f 之長度 L 及高度 hf 界定的平面）相交的角度，並且相對於第一內部噴嘴 13IN 之短軸線（例如，第一內部燃料出口 13f 之高度 hf ）成互補角 $(90^\circ - \beta)$ 。相對於沒有垂直方向分量之水平定向，俯仰（或角度 β ）可高達 $+10^\circ$ ，或者，相對於沒有垂直方向分量之水平定向，俯仰可高達 -10° ，因此導管 13c 沿 -10° 至 $+10^\circ$ 範圍之垂直俯仰線性延伸。應明白，大於 0° 之俯仰（例如 $+1^\circ$ 或 $+10^\circ$ 等）可被視為可向上引導燃料之傾斜方向，而小於 0° 之俯仰（例如 -1° 或 -10° 等）可被視為可向下引導燃料之傾斜方向。

【0103】 在一些實施例中，用於第一內部燃料出口 13f 之餽送導管 13c 之俯仰可為與用於第二內部燃料出口 15f 之餽送導管 15c 之俯仰相反的值。例如，用於第一內部燃料出口 13f 之餽送導管 13c 之俯仰可在大於 0° 至 $+10^\circ$ 之範圍內，並且用於第二內部燃料出口 15f 之餽送導管 15c 之俯仰可在小於 0° 至 -10° 之範圍內。作為另一個實例，第一內部燃料出口 13f 之餽送導管 13c 之俯仰可在小於 0° 至 -10° 之範圍內，且第二內部燃料出口 15f 之餽送導管 15c 之俯仰可在大於 0° 至 $+10^\circ$ 之範圍內。在其他實施例中，用於第一內部燃料出口 13f 之餽送導管 13c 及第二內部燃料出口 15f 之餽送導管 15c 之俯仰可各自具有俯仰為 0° 之水平定向，或者各自具有相同類型之俯仰（例如，兩者都可具有 0° 至 $+10^\circ$ 或 0° 至 -10° 範圍之俯仰）。在一些較佳實施例中，用於第一內部燃料出口

(2024 年 4 月修正)

13f 之餽送導管 13c 及第二內部燃料出口 15f 之餽送導管 15c 的俯仰平行於熔池表面定向（例如，具有 0° 或大約 0° 之俯仰，其可是在 0° 之 1° 範圍內之俯仰）。

【0104】 餽送導管 13c 之縱向軸線 13L 可偏離分級噴嘴 17 成角度。餽送導管 15c 之縱向軸線 15L 亦可偏離分級噴嘴 17 成角度。

【0105】 第二燃燒器元件 15 之第二內部燃料出口 15f 可相對於第二燃燒器元件 15 之第二外部氧化劑流出口 15o 凹陷。例如，第二燃燒器元件 15 之第二氧化劑流出口 15o 可位於燃燒器之熱側 10h，而第二燃燒器元件之第二燃料出口 15f 從燃燒器之熱側 10h 凹進 0.25 英寸至 0.75 英寸（例如凹進 0.635 cm 至 1.905 cm）。作為另一個實例，第二燃燒器元件 15 之第二氧化劑流出口 15o 可位於燃燒器之熱側 10h，而第二燃燒器元件 15 之第二燃料出口 15f 從燃燒器之熱側 10h 凹進 0.15 英寸至 1.0 英寸（例如凹進 0.381 cm 至 2.54 cm）。第二內部燃料出口 15f 相對於第二外部氧化劑流出口 15o 之凹陷定位可幫助保護燃料管路（例如天然氣燃料管路等）免受歸因於腐蝕性熔爐熱氣之任何損壞。此可幫助在需要任何更換之前延長燃料管路之壽命。

【0106】 第一燃燒器元件 13 之第一內部燃料出口 13f 可相對於第一燃燒器元件 13 之第一外部氧化劑流出口 13o 凹陷。例如，第一燃燒器元件 13 之第一氧化劑流出口 13o 可位於燃燒器之熱側 10h，而第一燃燒器元件 13 之第一燃料出口 13f 從燃燒器之熱側 10h 凹進 0.25 英寸至 0.75 英寸（例如凹進 0.635 cm 至 1.905 cm）。作為另一個實例，第一燃燒器元件 13 之第一外部氧化劑流出口 13o 可位於燃燒器之熱側 10h，而第一燃燒器元件 13 之第一燃料出口 13f 從

燃燒器之熱側 10h 凹進 0.15 英寸至 1.0 英寸（例如凹進 0.381 cm 至 2.54 cm）。

【0107】 除了俯仰、水平角度 α 及凹進配置之外，噴嘴間距及垂直與水平定位（例如，沿壁高度之垂直間隔、水平偏移定位等）亦可適於滿足用於提供穩定火焰之特定組設計標準，該穩定火焰可提供低 NO_x 排放，同時亦允許火焰由天然氣燃料、氫燃料或氫與天然氣之混合物燃料生成。例如，第一燃燒器元件 13 及第二燃燒器元件 15 之水平定位可適於允許此等燃燒器元件與彼此之中心對準或在預先選擇之水平偏移範圍內水平偏移。

【0108】 例如，第一內部燃料出口 13f 之水平長度 L 及第二內部燃料出口 15f 之水平長度 L 可各自相同或相似（例如，第一燃料出口 13f 之長度 L 可為第二內部燃料出口 15f 之長度 L 的 90% 至 110%）。各出口之長度 L 可為出口之長軸線的長度。例如，長度 L 可界定在用於第一燃燒器元件 13 之第一內部噴嘴 13IN 之出口（例如第一燃料出口 13f）的燃燒器面平面處量測之長軸線長度，並且長度 L 可界定在用於第二燃燒器元件 15 之第二內部噴嘴 15IN 之出口（例如第二內部燃料出口 15f）的燃燒器面平面處量測之長軸線長度。具有第一內部燃料出口 13f 之第一內部噴嘴 13IN 之長軸線可實質上平行於具有第二內部燃料出口 15f 之第二內部噴嘴 15IN 之長軸線，使得此等長軸線平行或在平行之 5° 範圍內。

【0109】 上第二燃料出口 15f 及下第一燃料出口 13f 之定位可經配置使得第一燃料出口 13f 之中心與第二燃料出口 15f 之中心水平間隔偏移距離 B 。偏移距離 B 可為具有第一內部燃料出口 13f 之第一內部噴嘴 13IN 之短軸線與具有第二內部燃料出口 15f 之第二內部噴嘴 15IN 之短軸線之間的距離。短軸可由

(2024 年 4 月修正)

出口之高度來界定。出口之高度可垂直於出口之長度 L 延伸。具有第一內部燃料出口 13f 之第一內部噴嘴 13IN 之短軸線可實質上平行於具有第二內部燃料出口 15f 之第二內部噴嘴 15IN 之短軸線，使得此等短軸線平行或在平行之 5° 範圍內。

【0110】 例如，圖 8 及圖 9 繪示不同偏移距離 B 配置之實例（應明白，圖 6 繪示類似於圖 8 所示之偏移距離 B 配置的偏移距離 B 配置）。第一燃燒器元件 13 及第二燃燒器元件 15 之重疊特徵可幫助促進燃料及氧化劑在熔爐體積內之混合，以使燃料在離開熔爐出口之前完全燃燒。

【0111】 在圖 7 中，第一內部燃料出口 13f 之水平長度 L 可小於第一燃燒器元件 13 之第一外部氧化劑流出口 13o 之水平長度 L_o 。此外，在燃燒器面平面 10fp 處量測的第一內部燃料出口 13f 之高度 h_f 可小於在燃燒器面平面 10fp 處量測的第一燃燒器元件 13 之第一外部氧化劑流出口 13o 之高度 h_o 。如上所述，此等高度 h_f 及 h_o 中之各者可沿着出口之短軸線延伸，該短軸線垂直於界定出口長度（ L 或 L_o ）之出口之長軸線。第一燃燒器元件 13 之第一外部氧化劑流出口 13o 可為環形，使得第一內部燃料出口 13f 位於第一外部氧化劑流出口 13o 之中心開口內。

【0112】 第二內部燃料出口 15f 之水平長度 L 可小於在燃燒器面平面 10fp 處量測的第二燃燒器元件 15 之第二外部氧化劑流出口 15o 之水平長度 L_o 。另外，第二內部燃料出口 15f 之高度 h_f 可小於在燃燒器面平面 10fp 處量測的第二燃燒器元件 15 之第二外部氧化劑流出口 15o 之高度 h_o 。如上所述，此等高度 h_f 及 h_o 中之各者可沿着出口之短軸線延伸，該短軸線垂直於界定出口長度之出口之長軸線。第二燃燒器元件 15 之第二外部氧化劑流出口 15o 可為

環形，使得第二內部燃料出口 15f 位於第二外部氧化劑流出口 15o 之中心開口內。

【0113】 第一燃燒器元件 13 之大小及形狀可與第二燃燒器元件 15 之大小及形狀相同。例如，第二內部燃料出口 15f 之大小及形狀可與第一內部燃料出口 13f 之大小及形狀相同，並且第一外部氧化劑流出口 13o 之大小及形狀可與第二外部氧化劑流出口 15o 之大小及形狀相同

【0114】 分級噴嘴 17 之氧化劑流出口 17o（其可經組態且定位成上氧化劑流噴嘴 17）可具有在燃燒器面平面 10fp 處量測之長度 X 及高度 Y。長度 X 可界定為使得分級噴嘴 17 具有氧化劑流出口 17o，該氧化劑流出口從第一燃料出口 13f 及/或第二燃料出口 15f 之最左側位置延伸至第一燃料出口 13f 及/或第二燃料出口 15f 之最右側位置。氧化劑流出口 17o 之高度 Y 可為出口最大部分之垂直距離、出口之高度或出口之直徑（取決於出口之形狀，其可是橢圓形、圓形或多邊形）。氧化劑流出口 17o 之長度 X 可界定為使得氧化劑流出口 17o 位於第一燃燒器元件及第二燃燒器元件上，並且在第一燃料出口 13f 之整個長度 L 上橫向延伸，並且亦在與第一內部燃料出口 13f 及第二內部燃料出口 15f 垂直間隔開並在其等上方的位置上在第二燃料出口 15f 之整個長度 L 上橫向延伸。

【0115】 第一燃燒器元件 13 及第二燃燒器元件 15、上氧化劑流噴嘴 17 之氧化劑流出口 17o 及用於引燃火焰之口 11 之間的垂直間距亦可界定為滿足一組預先選擇之標準，以幫助促進提供穩定火焰，該穩定火焰可提供低 NO_x 排放概況，同時亦允許火焰由天然氣燃料、氫燃料或氫與天然氣之混合物燃料生成。從圖 6 中可最佳明白，第一燃燒器元件 13 之第一外部氧化劑流出口 13o 之

(2024 年 4 月修正)

頂部可與第二燃燒器元件 15 之第二氧化劑流出口 15o 之底部垂直間隔第一垂直間距 H1。第二燃燒器元件 15 之第二外部氧化劑流出口 15o 之頂部可與上氧化劑流噴嘴 17 之氧化劑流出口 17o 之底部垂直間隔第二垂直間距 H2。引燃火焰口 11 之頂部亦可與第一燃燒器元件 13 之第一外部氧化劑流出口 13o 之底部垂直間隔引燃火焰垂直間距 H3（其亦可視為第三垂直間距 H3）。

【0116】 用於第一燃燒器元件 13 及第二燃燒器元件 15、引燃火焰口 11 及上氧化劑流噴嘴 17 之噴嘴定位可經配置以滿足以下標準，以提供改良之性能、所生成火焰之改良穩定性及更低之 NO_x 排放：

【0117】 (a) $2 \leq H1/hf \leq 20$ ，其中 H1/hf 為第一垂直間距 H1 除以內部燃料出口之高度 hf；

【0118】 (b) $2 \leq H2/hf \leq 20$ ，其中 H2/hf 為第二垂直間距 H2 除以內部燃料出口之高度 hf；

【0119】 (c) $2 \leq H3/hf \leq 20$ ，其中 H3/hf 為第三垂直間距 H3 除以內部燃料出口之高度 hf；及

【0120】 (d) $0.0 \leq B/L \leq 1.5$ ，其中 B 為偏移距離 B，且 L 為內部燃料出口之水平長度 L。

【0121】 上述噴嘴重疊標準(d)可幫助避免噴嘴相距過遠，以幫助確保燃料及氧化劑可在熔爐內充分混合以提供燃料之完全燃燒（或者至少非常接近燃料之完全燃燒）。

【0122】 此外，上述設計標準(a)、(b)及(c)可幫助確保在冷熔爐中實施燃燒器之安全點火，而煙道氣中沒有任何 CO 溢出（點火可為燃燒器啟動時在冷熔爐中最初在其下生成火焰之條件）。例示性點火序列可為利用引燃燃燒器 10

(2024 年 4 月修正)

來幫助點燃下噴嘴第一燃料出口 13f，並且來自下第一燃燒器元件 13 之火焰又隨後點燃從第二燃料出口 15f 輸出之燃料。用於經由點火序列起始火焰生成之運行上限可接近或處於其中在燃燒器啟動期間離開熔爐之燃料可能發生不完全燃燒的狀況，而運行下限可界定為幫助在上氧化劑流噴嘴 17、第一燃燒器元件 13 與第二燃燒器元件 15 之間降低 NO_x 生成並最小化火焰及/或流相互作用效應。

【0123】 藉由具有以下尺寸之第一燃料出口 13f 及第二燃料出口 15f，可進一步改良上述(a)-(d)標準之噴嘴定位：運行時，長寬比為 $5 \leq L/h_f \leq 15$ （其中 L 為內部燃料出口之水平長度 L，且 h_f 為內部燃料出口之高度），使得燃料以 50 英尺至 300 英尺/秒(ft/s)（其為 15.24 米/秒(m/s)至 91.44 m/s）之速度範圍輸出，並且氧化劑以 25 ft/s 至 150 ft/s（其為 7.62 m/s 至 45.72 m/s）之氧速度從第一外部氧化劑流出口 13o 及第二外部氧化劑流出口 15o 輸出。與習知圓管單氧燃料燃燒器相比，可界定 L/ h_f 比範圍，以幫助形成覆蓋更大熔池表面積之平坦火焰。可形成之面向熔池表面的更高火焰表面積可幫助輻射熔池之更高表面積，從而減少熔池熔爐側之冷點。此外，比 h_o/h_f 可針對第一燃燒器元件 13 及第二燃燒器元件 15 定大小，以產生從燃燒器元件輸出之燃料速度與從燃燒器元件輸出之主要氧化劑速度的 1 至 4 之比。

【0124】 另外，上氧化劑流噴嘴 17 之氧化劑流出口 17o 可具有 $10 \leq X/Y \leq 40$ 及 $1 \leq X/L \leq 2.5$ 之尺寸（其中 L 為內部燃料出口之水平長度 L，X 為上氧化劑流噴嘴 17 之長度，且 Y 為上氧化劑流噴嘴 17 之高度）。從上氧化劑流噴嘴 17 之氧化劑流出口 17o 輸出之氧化劑速度可在 25 ft/s 至 150 ft/s（其為 7.62 m/s 至 45.72 m/s 之速度）之範圍內。

【0125】 噴嘴及上氧化劑流噴嘴 17 之運行可適於幫助促進生成具有低 NO_x 排放及最小 CO 從熔爐溢出的穩定火焰。上氧化劑流噴嘴 17 中氧化劑分級之下限及上限可基於熔爐中之最佳燃燒器運行來界定。例如，從上氧化劑流噴嘴 17 之氧化劑流出口 17o 輸出之氧化劑可為從燃燒器輸出之整體氧化劑流的 5%至 30%（例如，從第一燃燒器元件 13、第二燃燒器元件 15 及上氧化劑流噴嘴 17 輸出之總氧化劑流的 5%至 30%）。可設定氧化劑分級之較高限制，使得防止熔爐頂壁過熱導致熔爐之頂部的熱釋放。此氧化劑流輸出條件可與以下要求相聯合：從第一燃燒器元件 13 輸出之氧化劑與從第二燃燒器元件 15 輸出之氧化劑具有相同氧化劑流率或大約相同氧化劑流率（例如，從第一外部氧化劑流出口 13o 輸出之氧化劑與從第二外部氧化劑流出口 15o 輸出之氧化劑具有相同輸出速率，或在從另一燃燒器元件之氧化劑流出口輸出之相同氧化劑速率的 10%或 15%以內）。來自第一燃燒器元件 13 及第二燃燒器元件 15 之此輸出氧化劑可為從第一外部氧化劑流出口 13o、第二外部氧化劑流出口 15o 及上氧化劑流噴嘴 17 之氧化劑流出口 17o 輸出之總氧化劑流的 95%至 70%。

【0126】 第一燃燒器元件 13 及第二燃燒器元件 15 可經組態以提供不同類型之燃料分級。例如，當兩個燃燒器元件均處於主動模式時，從第一燃料出口 13f 及第二燃料出口 15f 輸出之燃料的流率可相同。當一個燃燒器元件處於主動模式而另一個燃燒器元件處於被動模式時，從各燃燒器元件輸出之燃料可不同。例如，被動燃燒器元件可從該燃燒器元件之燃料出口輸出燃料，使得從該主動燃燒器元件輸出之燃料為從燃燒器 10 輸出之總燃料的 65%至 95%，並且從被動燃燒器元件輸出之燃料可為從燃燒器 10 輸出之總燃料的 35%至 5%。

【0127】 從圖 5 可明白，燃燒器元件（例如，第一燃燒器元件 13、第二燃燒器元件 15 或兩個燃燒器元件等）之主動模式運行。例如，在主動模式下，燃料可從燃料控制歧管 28 輸出並傳遞至在主動模式下運行之燃燒器元件，使得控制閥 30 打開並且燃料以高於最小燃料流率之高速率餽送至燃燒器元件。當燃燒器元件處於被動模式時，控制閥 30 可完全關閉，使得僅最小燃料流率經由可通過旁路導管段 31b 之燃料餽送至燃燒器元件，該旁路導管段允許最小燃料流率繞過關閉之控制閥 30 以使燃料流動至燃燒器元件。

【0128】 控制閥 30 可經控制以允許所有燃燒器元件同時處於主動模式，或者可經組態以切換哪個燃燒器元件處於主動模式且哪個燃燒器元件處於被動模式（例如，對於預先選擇之主動模式時間循環，交替主動模式循環及被動模式循環）。例如，第一燃料餽送導管 29a 之控制閥可完全打開，且第二燃料餽送導管 29b 之控制閥 30 可完全關閉持續第一預先選擇之主動模式時間段（例如 15 秒、5 分鐘、3 小時等）。在經過該時間段之後，可調節控制閥，使得第一燃料餽送導管 29a 之控制閥可完全關閉，且第二燃料餽送導管 29b 之控制閥 30 可完全打開持續第二預先選擇之主動模式時間段（例如 15 秒、5 分鐘、3 小時等）。在哪個燃燒器元件為主動且哪個燃燒器元件為被動之間之此切換可持續多個循環。此循環可幫助提供低排放，防止在燃燒器之熱側 10h 及/或燃燒器安裝在其上之側壁之附近部分處的金屬過熱，並且歸因於熔池表面附近之低氧氛而維持或改良產率。在加熱設備 1 已啟動且平均溫度高於燃料之自燃溫度之後尤其如此。相較之下，使兩個燃燒器元件均處於主動可幫助防止一氧化碳(CO)溢出，並幫助在冷熔爐啟動期間（例如，當加熱設備低於燃料之自燃溫度時）提供完全燃燒。

【0129】 當第一燃燒器元件 13 及第二燃燒器元件 15 兩者處於主動模式時，燃燒器之運行可經組態以提供 1.05 與 1.5 之間之當量比（例如 $1.05 < \text{當量比} < 1.5$ 或大於或等於 1.05 且小於或等於 1.5 之當量比）。應明白，對於給定之燃料流率，當量比可判定為理論化學計量氧化劑流與實際氧化劑流之比。

【0130】 在一個燃燒器元件處於主動模式而另一個處於被動模式運行之情況下，各燃燒器元件可以不同當量比運行。應明白，當量比係燃料與氧化劑之比，其中當量比 1.0 係用於完全燃燒之燃料與氧化劑之混合物，當量比大於 1 係富燃料之燃料與氧化劑之混合物（例如，與氧化劑相比燃料更多，使得可能發生燃料之不完全燃燒），且當量比小於 1 係富氧化劑之燃料與氧化劑之混合物（例如，比完全燃燒所需之氧化劑更多）。與燃燒器元件在接近化學計量條件下之運行相比，燃燒器元件之富及貧運行策略可幫助減少燃燒過程中生成之熱 NO_x 。

【0131】 例如，被動燃燒器元件可在 0.1 與 1.0 之間之當量比（例如， $0.1 < \text{當量比} < 1.0$ 或大於或等於 0.1 且小於或等於 1.0 之當量比）下運行，而主動燃燒器元件可在 1.4 與 3.0 之間之當量比（例如， $1.4 < \text{當量比} < 3.0$ 或大於或等於 1.4 且小於或等於 3 之當量比）下運行。應明白，即使一個或所有燃燒器元件可在富燃料條件下運行（例如，以大於 1 之當量比），可由上分級噴嘴 17 提供之額外氧化劑仍可提供額外氧化劑以幫助促進燃料之完全燃燒。

【0132】 控制閥 30 之功能可藉由通信連接至控制閥之控制器 CTRL 來控制。控制器可通信地連接至設備之一或多個感測器，以監測熔爐及/或導管中之狀況。至少一個感測器可定位在熔爐中或熔池 2 上方之腔室中，或者可經定位以偵測熔池上方之腔室或熔爐中之一或多種狀況。此種感測器可包含例如溫度

感測器、壓力感測器及流率或質量流感測器。控制器可經組態以根據儲存在控制器之非暫態記憶體中之代碼中所界定之預界定控制算法自動控制控制閥 30 之打開與關閉，使得當控制器之處理器運行代碼時，控制器與控制閥 30 通信以基於感測器資料及可經由一或多個輸入裝置（例如，通信地連接至控制器之電腦等）提供之任何運行者輸入來調整其位置。控制器 CTRL 可經組態以在啟動至少一個燃燒器期間監測及/或控制燃燒器 10 之運行，使得第一燃燒器元件 13 及第二燃燒器元件 15 處於主動模式，使得第一燃燒器元件及第二燃燒器元件以 1.05 與 1.5 之間之當量比運行。

【0133】 在用於暫態加熱之設備 1 在高於餽送至至少一個燃燒器之燃料之自動點火溫度的預先選擇運行溫度下運行之後，控制器可與控制閥 30 通信，以將第一燃燒器元件 13 從主動模式切換至被動模式，並且隨後將第一燃燒器元件 13 從被動模式切換至主動模式，同時在第一預先選擇時間段之後亦將第二燃燒器元件 15 從主動模式切換至被動模式。第一燃燒器元件 13 及第二燃燒器元件 15 之主動模式及被動模式之此切換可在許多循環中多次發生。在一些組態中，控制器 CTRL 及控制閥 30 可經組態使得燃燒器元件之主動模式為當量比在 1.4 與 3.0 之間之模式，而被動模式為當量比在 0.1 與 1.0 之間之模式。

【0134】 控制器 CTRL 亦可經組態使得一或多個燃燒器 10 被運行使得從分級噴嘴 17 之氧化劑流出口 17o 輸出之氧化劑在從燃燒器 10 輸出之整體氧化劑流的 5%與 30%之間，並且從第一燃燒器元件 13 輸出之氧化劑之流率在從第二燃燒器元件 15 輸出之氧化劑之氧化劑流率的 10%之內。

【0135】 控制器 CTRL 可經組態以獨立地控制流向第一燃燒器元件 13 之第一內部噴嘴 13IN 及第二燃燒器元件 15 之第二內部噴嘴 15IN 中之各者的燃料流，並且亦控制總氧化劑流之分佈，以使其由分配在第一燃燒器元件 13 之第一環形噴嘴 13AN 與第二燃燒器元件 15 之第二環形噴嘴 15AN 之間的主要氧化劑流（例如，第一外部氧化劑流出口 13o 及第二外部氧化劑流出口 15o）及提供至分級噴嘴 17 之次要氧化劑流組成。主要氧化劑流可為總氧化劑流之 60% 至 95%，且次要氧化劑流可為剩餘部分（例如總氧化劑流之 40% 至 5%）。對於第一燃燒器元件及第二燃燒器元件，主要氧化劑流可在第一環形噴嘴 13AN 與第二環形噴嘴 15AN 之間以 0.9 至 1.1 之比分配。

【0136】 控制器亦可經程式化以按比例模式運行燃燒器 10，其中總燃料流被供應至第一燃燒器元件 13 之第一內部噴嘴及第二燃燒器元件 15 之第二內部噴嘴（例如，第一內部燃料出口 13f 及第二內部燃料出口 15f），使得第一燃燒器元件之當量比為 1.05 至 1.5，且第二燃燒器元件之當量比為 1.05 至 1.5。

【0137】 控制器 CTRL 可經程式化以在交替模式下運行燃燒器 10，其中第一燃燒器元件 13 之第一內部噴嘴（例如第一內部燃料出口 13f 與第二燃燒器元件 15 之第二內部噴嘴（例如第二內部燃料出口 15f）之間之總燃料流的分配在第一狀態與第二狀態之間來回切換，在第一狀態中第一燃燒器元件處於主動而第二燃燒器元件處於被動，且在第二狀態中第一燃燒器元件處於被動而第一燃燒器元件處於主動。在此種運行狀態下，控制器 CTRL 可經組態使得主動燃燒器元件可以 1.4 至 3 之當量比運行來表徵，而被動燃燒器元件可以 0.1 至 1 之當量比運行來表徵。

【0138】 控制器 CTRL 可經組態以控制燃料及氧化劑至燃燒器之流，使得燃燒器在交替模式與比例模式之間切換。此切換可基於預先選擇之運行標準、運行者輸入或其他標準來發生。此等運行模式之間之切換可基於預先選擇之循環、使用輸入及/或其他標準來回發生。

【0139】 控制器 CTRL 之實施例可具有或以其他方式利用反饋控制迴路，該反饋控制迴路被界定為基於來自定位在該設備中之感測器之感測器資料在燃燒器 10 之燃燒器元件的主動運行模式與被動運行模式之間進行選擇。由控制器之處理器運行之代碼可界定反饋控制迴路或至少部分地界定控制迴路。

【0140】 控制器之實施例可包含運行自動化製程控制程式之工作台，該自動化製程控制程式亦通信地連接至控制閥 30、感測器及其他控制元件。控制器亦可包含其他類型之電腦裝置，其具有連接至非暫態電腦可讀介質之處理器及至少一個收發器，該非暫態電腦可讀介質上儲存有控制程式之代碼，而該至少一個收發器用於通信地連接至控制閥及感測器（例如，經由網路連接、無線網路連接或有線通信連接等）。一或多個輸入裝置可連接至控制器，以允許使用者向控制器提供輸入。一或多個輸出裝置（例如顯示器、打印機等）可通信地連接至控制器，以亦向使用者提供輸出。

【0141】 如圖 1 所示，燃燒器 10 可部署在熔爐 1 中。熔爐 1 可為反射熔爐或可利用暫態加熱燃燒器 10 之其他類型之熔爐。在一些實施例中，用於暫態加熱之設備可包含熔池，該熔池可經定大小以保持金屬用於經由暫態加熱熔化金屬。側壁 6 可在熔池上方垂直延伸，且頂或頂板可定位在熔池上方並附接至側壁以圍封熔池 2。燃燒器陣列 3 可經定位以燃燒燃料並在熔池上方之腔室

內提供火焰。來自形成之火焰之熱氣體可在金屬熔池上方之腔室內盤旋或以其他方式流動，以向金屬提供暫態加熱，從而熔化熔池 2 內之金屬。

【0142】 金屬可為例如鐵、鋁、有色金屬或另一類型之金屬。火焰之熱氣體可朝向煙道 5 傳遞，以便從腔室向外並離開熔池 2 輸出。輸出之熱氣可直接排放至大氣中，亦可餽送至另一個工廠製程用於其他用途（例如熱交換器之加熱介質等）。

【0143】 至少一個側壁 6 及/或頂可包含至少一個暫態加熱燃燒器 10，該暫態加熱燃燒器可與其他燃燒器（例如氧燃料燃燒器、再生燃燒器等）結合使用及/或作為此種燃燒器之替代品。在一些實施例中，燃燒器陣列之各燃燒器 10 可為此一燃燒器 10。在其他實施例中，燃燒器 10 中之一或多者可為暫態加熱燃燒器，該暫態加熱燃燒器與其他預先存在之習知燃燒器 3 一起被定位成生成火焰，該習知燃燒器可經定位以生成用於暫態加熱熔池 2 內之金屬的火焰。燃燒器之配置可與燃燒器之受控運行結合使用，以提供用於加熱熔池 2 內之金屬之熔池上方之腔室內之熱氣加熱流之希望加熱概況。

【0144】 各燃燒器 10 可包含經組態以可定位在熔爐之內表面處的燃燒器面。例如，燃燒器 10 可經安裝，因此其與熔爐之內表面齊平。例如，當燃燒器 10 被安裝至側壁 6 時，燃燒器之燃燒器面可經組態以與側壁 6 齊平。作為另一個實例，當燃燒器 10 被安裝至頂時，燃燒器面亦可經組態以與頂齊平。作為又一實例，燃燒器 10 可被安裝至側壁 6 或頂，以可定位在熔爐之內表面處，用於將燃料及氧化劑餽送至熔池 2 上方之腔室中。燃燒器之燃燒器面 10f 可界定燃燒器面平面 10fp。燃燒器面平面 10fp 可為在其下從燃燒器 10 輸出燃料及氧化劑以餽送至熔池 2 上方之腔室的平面。

【0145】 使用不同燃燒器組態，對具有圖 1 所示之例示性實施例之組態的熔爐進行計算流體動力學(CFD)分析。兩個 CFD 模擬在相同類型之熔爐中使用相同之條件，但是具有不同之燃燒器組態。對類似於圖 8 所示實施例之燃燒器實施例執行第一次 CFD 評估。第二次 CFD 評估是針對具有類似於圖 8 所示實施例之設計但沒有上氧化劑流噴嘴 17 的燃燒器。此模擬中使用之燃料為天然氣，且 100 體積%氧用作氧化劑。圖 10（沒有上氧化劑流噴嘴 17）及圖 11（有上氧化劑流噴嘴 17）展示此等兩個 CFD 評估之熔池表面附近雜散氧濃度的結果。

【0146】 圖 10 及图 11 各繪示在熔池 2 之表面處的氧濃度曲線圖 2a。該曲線圖繪示已進行之 CFD 評估之結果。圖 10 繪示燃燒器 10 附近之高氧濃度區域。圖 11 展示上氧化劑流噴嘴 17 之使用允許消除此區域，並且在整個熔池 2 各處提供更均勻及低濃度之氧。

【0147】 吾人使用 CFD 分析評估之燃燒器 10 之實施例發現，使用上氧化劑流噴嘴 17 可幫助將熔池表面附近之氧濃度降低至約 5%（存在該噴嘴時），相比之下，當在燃燒器中不利用上氧化劑流噴嘴 17 時氧濃度可降低至約 15%（省略該噴嘴時）。使用上氧化劑流噴嘴 17 可幫助將金屬熔池氧化降低或維持至基礎位準。發現將上氧化劑流噴嘴 17 定位在第一燃燒器元件 13 及第二燃燒器元件 15（及/或可輸出燃料及氧之任何其他額外第三噴嘴）上方會幫助將氧從金屬熔池表面移開，因為在上氧化劑流噴嘴 17 與熔池表面之間定位之噴嘴形成有覆蓋表面，該覆蓋表面幫助避免從燃燒器 10 輸出之氧從引燃火焰口 11 下方流向熔池 2。

【0148】 對吾人之燃燒器之實施例進行之評估亦表明，在第一燃燒器元件 13 及第二燃燒器元件 15（及/或可輸出燃料及氧之任何其他額外第三燃燒器元件）上方利用上氧化劑流噴嘴 17 會幫助減少 NO_x 排放。發現，與僅利用第一燃燒器元件 13 及第二燃燒器元件 15 而無上氧化劑流噴嘴 17 之燃燒器的實施例相比，使用上氧化劑流噴嘴 17 減少多達 50%之 NO_x 排放。

【0149】 例示性燃燒器 10 亦在吾人之工業規模實驗室熔爐中以 5 MMBtu/hr 之焚燒速率進行秘密測試。測試中使用之氧化劑為 100 體積%氧。下表 1 呈現實驗測試點及從此進行之測試中獲得之對應廢氣排放。在下表 1 中，燃料類型 NG 為天然氣，燃料類型 H2 為氫氣，CO₂ 為排放中存在之二氧化碳，O₂ 為排放中存在之氧，NO_x 為排放中之氮氧化物，CO 為排放中之一氧化碳。

表 1：在平均熔爐溫度為 1900°F下運行之實驗室測試熔爐之焚燒速率及廢氣排放

	焚燒速率	燃料	CO ₂	O ₂	NO _x	CO	3% O ₂ 下之 NO _x	
	MMBtu/hr	熱值 %	%	%	ppm	ppm	ppm	lb/MMBtu
一個燃料噴嘴主動，而另一個燃料噴嘴被動	5	100% NG	85	7.96	514	14	711	0.06
兩個燃料噴嘴均處於主動	5	100% NG	90.8	4.87	565	31	630	0.052
		80% NG-20% H2	88.1	8.7	416	14	610	0.042

(2024 年 4 月修正)

		60% NG- 40% H2	88	8.6	450	16	654	0.034
--	--	----------------------	----	-----	-----	----	-----	-------

【0150】 上表 1 展示燃燒器 10 可在燃燒器之兩種運行模式下運行，第一種是燃燒器元件之一個內部燃料噴嘴處於主動，而另一個燃燒器元件之另一個內部燃料噴嘴處於被動，第二種是第一燃料燃燒器元件 13 及第二燃料燃燒器元件 15 均處於主動。燃燒器 10 之此性能展示出幫助基於工廠運行需要為燃燒器 10 提供運行靈活性。從測試中獲得之資料表明，燃燒器 10 之實施例可為燃料彈性的（例如，其可使用天然氣作為燃料，且亦可使用天然氣及氫之混合物）。此外，NO_x 及 CO 排放極低，吾人相信此係歸因於雙級版本燃燒器之結構及組態。根據上述設計標準(a)-(d)之燃燒器之雙級及適當尺寸例如幫助產生以最小火焰相互作用從燃燒器 10 輸出之兩個火焰，避免燃燒器 10 之個別燃燒器元件之化學計量運行，並且仍然提供從燃燒器 10 輸出之燃料的接近完全燃燒。

【0151】 圖 12 係繪示習知氧燃料燃燒器與吾人之新暫態加熱燃燒器之實施例之間根據熔爐中空氣洩漏百分比之正規化 NO_x 排放（lbs/MMBtu）之比較的曲線圖。針對具有兩種不同類型燃料之兩種情況，呈現吾人之暫態加熱燃燒器（如本文所述，在循環運行中一個燃燒器元件處於主動而另一個處於被動）之實施例的結果：一個燃燒器元件使用天然氣(NG)，在圖 12 中標記為「新暫態燃燒器（NG 燃料）」，另一個燃燒器元件使用熱值為 70%之天然氣-熱值為 30%之氫混合物，標記為「新暫態燃燒器（NG/H₂ 燃料）。圖 12 所示之曲線表明，與習知氧燃料燃燒器相比，新暫態燃燒器之實施例生成多達 40%之較低

總 NOx 排放。考慮量測不確定度及熔爐運行因素，當使用天然氣或天然氫燃料混合物運行時，來自新暫態燃燒器之總 NOx 排放是類似的。

【0152】 基於對燃燒器 10 及暫態加熱設備 1 之一些實施例執行之 CFD 分析，亦發現吾人之燃燒器之實施例提供燃料效率改良及產率改良。

【0153】 例如，對於 62,000 lbs（28,122.7 kg）之批量負載，使用天然氣燃料為熔爐中之燃燒器進行兩次 CFD 模擬。第一次 CFD 模擬使用使用習知燃燒器之空氣-燃料燃燒配置（表 2 中之「空氣」）。第二次 CFD 模擬係針對在圖 1 之熔爐中使用之吾人之燃燒器 10 的實施例，該實施例被模擬為使用經由吾人之多級暫態加熱燃燒器 10 之實施例提供的混合燃燒（表 2 中之「混合」，一個空氣-燃料燃燒器被一個多級暫態加熱燃燒器取代）。表 2 展示熔爐之能量平衡。發現吾人之燃燒器 10 之實施例幫助將運行效率改良約 9%。熔池內金屬之熔化時間能夠從 4.1 小時減少至 3.0 小時（此藉由將生產加速 1.1 小時而提供約 26%之產量增加），並且藉由將燃料消耗從每磅(lb) 1328 英制熱量單位(BTU)減少至 975 BTU/lb，提供 26.6%之燃料使用減少。

表格 2：空氣燃燒與混合燃燒之比較

	空氣	混合
焚 燒	20.00	21.50
(MMBtu/hr)		
預熱	1.00	0.50
總輸入	21.00	22.00
	(MMBtu/hr)	(MMBtu/hr)
廢料	5.51	7.86
煙道	2.06	1.92
再生器	9.43	7.31
壁	2.85	3.49

(2024 年 4 月修正)

未燃燃料	1.06	1.19
總輸出 (MMBtu/hr)	20.92	21.76
效率	27.5%	36.2%

【0154】 亦比較吾人之燃燒器之應用，其中使用天然氣作為燃料，並且其中使用熱值為 30%之氫(H2)與熱值為 70%之天然氣(NG)的混合物。下表 3 展示此等分析之結果。從表 3 中可明白，燃燒器 10 能夠使用用於所進行之評估的天然氣及天然氣/氫混合物來維持其性能。

表格 3：使用摻和燃料(NG+H2)及僅 NG 運行之熔爐能量平衡的比較：

參數	摻和物：NG+H2 (熱)	基礎：NG (熱)
焚燒	21.50	21.50
預熱	0.5	0.50
總輸入(MMBtu/hr)	22.00	22.00
廢料(MMBtu/hr)	8.06	7.86
煙道(MMBtu/hr)	1.88	1.92
再生器(MMBtu/hr)	7.01	7.31
壁(MMBtu/hr)	3.60	3.49
未燃燃料(MMBtu/hr)	0.76	1.19

(2024 年 4 月修正)

總輸出(MMBtu/hr)	21.31	21.76
效率	37.1%	36.2%

【0155】 燃燒器 10 之實施例亦可利用額外燃燒器元件。例如，可存在第三燃燒器元件，其位於引燃火焰口 11 與第一燃燒器元件 13 之間。此第三噴嘴可經定位且對準以將燃料及氧化劑輸出至加熱設備 1 中，因此其以中心對準方式輸出（例如以 0°之俯仰及以 0°之水平角度 α ）。可設想，其他實施例亦可利用一或多個第三燃燒器元件，各第三燃燒器元件具有由外部氧化劑流出口圍繞之內部燃料出口。例如，燃燒器元件可經組態以與第一燃燒器元件 13 及第二燃燒器元件 15 相同，但是經配置以提供不同燃料及/或氧化劑流路徑（例如，輸出燃料以提供 0°之俯仰及 0°之水平角度 α ，等等）。

【0156】 從上文中可明白，用於暫態加熱之設備（例如反射熔爐）及可併入此種裝置中之燃燒器可經組態以包含經定位且組態以監測且控制運行的製程控制元件（例如溫度及壓力感測器；流感測器；具有至少一個工作台之自動化製程控制系統，該系統包含處理器、非暫態記憶體及用於與感測器元件通信之至少一個收發器；閥；及控制器，該控制器用於為可在工作台及/或系統之另一電腦裝置處運行之自動化製程控制系統提供使用者界面；等等）。

【0157】 燃燒器 10 之實施例可利用不同類型之燃料。例如，作為使用天然氣及氫作為可能之燃料源之替代（或除此之外），實施例可在載氣或其他燃料源中利用霧化液體燃料或粉碎固體燃料（例如，煤粉）。

【0158】 應明白，「 $\leq$ 」係指小於或等於，且「 $\geq$ 」係指大於或等於。亦應明白，燃料可包含可燃材料。燃料之實例可包含天然氣、氫氣、柴油、煤

或可燃燒之其他燃料源。燃料可通過燃燒器元件之內部噴嘴。氧化劑可指其中包含可用於燃料燃燒之氧濃度的流體。氧化劑可通過圍繞燃燒器元件之內部噴嘴的燃燒器元件之環形噴嘴。在一些實施例中，燃料或其他材料可包含在通過環形噴嘴之氧化劑中。

【0159】 實施例可適於專門解決特定組之設計標準。例如，可設想，單獨描述或作為實施例之一部分描述之特定特徵可與其他單獨描述之特徵或其他實施例之部分相組合。因此，本文描述之各種實施例之元件及動作可被組合以提供進一步實施例。因此，雖然上文已展示且描述暫態加熱之方法、用於暫態加熱之設備、用於反射熔爐之燃燒器及其製造與使用方法之某些例示性實施例，但是應清楚地理解，本發明不限於此，而是可在以下申請專利範圍之範疇內以其他方式體現且實踐。

【符號說明】

【0160】

- 100:開關控制系統
- 1:反射熔爐
- 2:熔池
- 2a:氧濃度曲線
- 3:習知燃燒器
- 4:燃燒器元件
- 5:煙道
- 6:側壁
- 10:燃燒器

- 10h:燃燒器之熱側
- 10c:燃燒器後側
- 10f:燃燒器面
- 10fp:燃燒器面平面
- 11:引燃火焰口
- 11c:引燃火焰餽送導管
- 13:第一燃燒器元件
- 13AN:第一環形噴嘴
- 13IN:第一內部噴嘴
- 13c:餽送導管
- 13f:第一內部燃料出口
- 13o:第一外部氧化劑流出口
- 13L:縱向軸線
- 15:第二燃燒器元件
- 15AN:第二環形噴嘴
- 15IN:第二內部噴嘴
- 15c:餽送導管
- 15f:第二內部燃料出口
- 15o:第二外部氧化劑流出口
- 15L:縱向軸線
- 17:分級噴嘴
- 17o:氧化劑流出口

- 24:引燃導管
- 25:天然氣源
- 26:氫源
- 28:燃料供應源
- 29a:第一燃燒器元件燃料餽送導管
- 29b:第二燃燒器元件燃料餽送導管
- 30:閥
- 31a:上游燃料餽送導管段
- 31b:旁路流導管段
- 31c:下游導管段
- F7:圓圈
- CTRL:控制器
- α :角度
- β :角度
- X, L, L_o:出口長度
- Y, H_f, h_o:高度
- H1:第一垂直間距
- H2:第二垂直間距
- H3:第三垂直間距
- B:偏移距離

【發明申請專利範圍】

【請求項1】 一種用於一熔爐之暫態加熱之燃燒器，該燃燒器包括：

一燃燒器面，其經組態以在該燃燒器被安裝在該熔爐中時定位在該熔爐之一內表面處，該燃燒器面界定一燃燒器面平面；

一第一燃燒器元件，其具有一第一環形噴嘴，該第一環形噴嘴經組態以使主要氧化劑圍繞一第一內部噴嘴流動，該第一內部噴嘴經組態以使燃料流動；

一第二燃燒器元件，其具有一第二環形噴嘴，該第二環形噴嘴經組態以使主要氧化劑圍繞一第二內部噴嘴流動，該第二內部噴嘴經組態以使燃料流動，該第二燃燒器元件定位成鄰近該第一燃燒器元件並與該第一燃燒器元件間隔開；

一分級噴嘴，其經組態以使次要氧化劑流動，該分級噴嘴定位成鄰近該第二燃燒器元件並與該第二燃燒器元件間隔開，

其中該第二燃燒器元件定位在該分級噴嘴與該第一燃燒器元件之間；

其中該第一內部噴嘴及該第二內部噴嘴各自具有由在該燃燒器面平面處量測之一長軸線長度 L 界定之一長軸線、由在該燃燒器面平面處量測之一短軸線高度 h_f 界定之一短軸線、及 $5 \leq L/h_f \leq 15$ 之一燃料噴嘴長寬比；

其中該分級噴嘴具有由在該燃燒器面平面處量測之一長軸線長度 X 界定之一長軸線，及由在該燃燒器面平面處量測之一短軸線高度 Y 界定之一短軸線；
且

其中該第一內部噴嘴之該長軸線、該第二內部噴嘴之該長軸線及該分級噴嘴之該長軸線在小於或等於 5° 之偏差範圍內彼此平行。

【請求項2】 如請求項1所述之燃燒器，其中該分級噴嘴具有 $10 \leq X/Y \leq 40$ 之長寬比。

【請求項3】 如請求項1所述之燃燒器，其中 $1 \leq X/L \leq 2.5$ 。

【請求項4】 如請求項1所述之燃燒器，
其中該第二燃燒器元件與該第一燃燒器元件間隔一距離 $H1$ ，其中 $2 \leq H1/h_f \leq 20$ ；且

其中該分級噴嘴與該第二燃燒器元件間隔開距離 $H2$ ，其中 $2 \leq H2/h_f \leq 20$ 。

【請求項5】 如請求項1所述之燃燒器，
其中該第一內部噴嘴之該短軸線與該第二內部噴嘴之該短軸線偏移一距離 B ，其中 $0 < B/L \leq 1.5$ ；且

其中該第一內部噴嘴之該短軸線與該第二內部噴嘴之該短軸線在小於或等於 5° 之偏差範圍內彼此平行。

【請求項6】 如請求項1所述之燃燒器，其進一步包括：
一引燃火焰口，其經定位以鄰近該第一燃燒器元件並與該第一燃燒器元件間隔一距離 $H3$ ；

其中該第一燃燒器元件定位在該第二燃燒器元件與該引燃火焰口之間；且
其中 $2 \leq H3/h_f \leq 20$ 。

【請求項7】 如請求項1所述之燃燒器，其進一步包括：
一第一燃料導管，其經組態以向該第一內部噴嘴供應燃料，該第一燃料導管具有與該第一燃料導管中之燃料流動方向對準之一縱向軸線，該縱向軸線相

(2024 年 8 月修正)

對於垂線以角度 α 與該燃燒器面平面相交，並且相對於該第一內部噴嘴之該長軸線成互補角($90^\circ - \alpha$)；

一第二燃料導管，其經組態以向該第二內部噴嘴供應燃料，該第二燃料導管具有與該第二燃料導管中之燃料流動方向對準之一縱向軸線，該縱向軸線相對於垂線以角度 α 與該燃燒器面平面相交，並且相對於該第二內部噴嘴之該長軸線成互補角($90^\circ - \alpha$)；

其中該第一燃料導管之該縱向軸線及該第二燃料導管之該縱向軸線相對於彼此成角度 2α ；且

其中 $0 < \alpha \leq 20^\circ$ 。

【請求項8】 如請求項7所述之燃燒器，其中 $5^\circ < \alpha \leq 20^\circ$ 。

【請求項9】 如請求項7所述之燃燒器，

其中該第一燃料導管之該縱向軸線相對於垂線以角度 β 與由該第一內部噴嘴之該長軸線及該短軸線界定的平面相交，並且相對於該第一內部噴嘴之該短軸線成互補角($90^\circ - \beta$)；

其中該第二燃料導管之該縱向軸線相對於垂線以角度 β 與由該第二內部噴嘴之該長軸線及該短軸線界定的平面相交，並且相對於該第二內部噴嘴之該短軸線成互補角($90^\circ - \beta$)；

其中該第一燃料導管之該縱向軸線及該第二燃料導管之該縱向軸線各與該分級噴嘴成一定角度；且

其中 $0 < \beta \leq 10^\circ$ 。

【請求項10】 如請求項1所述之燃燒器，其進一步包括：

一第一燃料導管，其經組態以向該第一內部噴嘴供應燃料，該第一燃料導管具有與該第一燃料導管中之燃料流動方向對準之一縱向軸線，該縱向軸線相對於垂線以角度 β 與該燃燒器面平面相交，並且相對於該第一內部噴嘴之該短軸線成互補角 $(90^\circ - \beta)$ ；

一第二燃料導管，其經組態以向該第二內部噴嘴供應燃料，該第二燃料導管具有與該第二燃料導管中之燃料流動方向對準之一縱向軸線，該縱向軸線相對於垂線以角度 β 與該燃燒器面平面相交，並且相對於該第二內部噴嘴之該短軸線成互補角 $(90^\circ - \beta)$ ；

其中該第一燃料導管之該縱向軸線及該第二燃料導管之該縱向軸線各與該分級噴嘴成一定角度；且

其中 $0 < \beta \leq 10^\circ$ 。

【請求項11】 如請求項1所述之燃燒器，其中一總燃料流及一總氧化劑流以一當量比提供至該燃燒器，其中當量比1表示燃料與氧化劑之化學計量比，大於1之當量比表示富燃料之化學計量比，小於1之當量比表示貧燃料之化學計量比，該燃燒器進一步包括：

一控制器，其經程式化以：

獨立地控制至該第一內部噴嘴及該第二內部噴嘴中之各者的燃料流；且

控制該總氧化劑流之分佈，使其由分配在該第一環形噴嘴與該第二環形噴嘴之間之一主要氧化劑流及提供至該分級噴嘴之一次要氧化劑流組成，其中該主要氧化劑流為該總氧化劑流的60%至95%。

【請求項12】 如請求項11所述之燃燒器，其中該主要氧化劑流以0.9至1.1之比在該第一環形噴嘴與該第二環形噴嘴之間分配。

(2024 年 8 月修正)

【請求項13】 如請求項11所述之燃燒器，其中該控制器經程式化以按一比例模式運行該燃燒器，其中該總燃料流被供應至該第一內部噴嘴及該第二內部噴嘴，使得該第一燃燒器元件之當量比為1.05至1.5，且該第二燃燒器元件之當量比為1.05至1.5。

【請求項14】 如請求項11所述之燃燒器，其中該控制器經程式化以在一交替模式下運行燃燒器，其中該第一內部噴嘴與該第二內部噴嘴之間之該總燃料流的分配在一第一狀態與一第二狀態之間來回切換，在該第一狀態中該第一燃燒器元件處於主動而該第二燃燒器元件處於被動，且在該第二狀態中該第一燃燒器元件處於被動而該第二燃燒器元件處於主動；

其中一主動燃燒器元件以1.4至3之當量比來表徵，且一被動燃燒器元件以0.1至1之當量比來表徵。

【請求項15】 如請求項14所述之燃燒器，其中該控制器經程式化以基於預定時間段之流逝及來自經定位以偵測該熔爐中之至少一個狀況的一感測器之資料中的一或多者，在該第一狀態與該第二狀態之間切換。

【請求項16】 如請求項1所述之燃燒器，

其中該第一環形噴嘴及該第二環形噴嘴各自具有分別與該第一內部噴嘴及該第二內部噴嘴之該長軸線及該短軸線重合的一長軸線及一短軸線，其中該第一環形噴嘴及該第二環形噴嘴之各者的該短軸線由高度 h_o 界定；

其中燃料以一燃料速度離開該第一內部噴嘴及該第二內部噴嘴之各者；

其中主要氧化劑以一主要氧化劑速度離開該第一環形噴嘴及該第二環形噴嘴之各者；且

其中比 h_o/h_{tr} 經定大小以產生1至4之燃料速度與主要氧化劑速度之比。

【請求項17】 如請求項1所述之燃燒器，其進一步包括：

一引燃火焰口，其定位在該第一燃燒器元件下方，該引燃火焰口之一頂部與該第一環形噴嘴之一底部垂直間隔一第三垂直間距H3，使得 $2 \leq H3/h_f \leq 20$ ；且

其中該第二燃燒器元件之一底部與該第一環形噴嘴之一頂部間隔一第一垂直距離H1，其中 $2 \leq H1/h_f \leq 20$ ；且

其中該分級噴嘴之一底部與該第二環形噴嘴之一頂部間隔一第二垂直距離H2，其中 $2 \leq H2/h_f \leq 20$ ；且

其中該第一內部噴嘴之該短軸線與該第二內部噴嘴之該短軸線偏移一距離B，其中 $0 < B/L \leq 1.5$ ；且

其中該第一內部噴嘴之該短軸線與該第二內部噴嘴之該短軸線在小於或等於5°之偏差範圍內彼此平行。

【請求項18】 一種熔爐，其包括：

- 一壁；
- 一頂；
- 一固體及/或液體材料熔池；及

定位在該壁中之如請求項1所述之燃燒器，使得該第一燃燒器元件比該第二燃燒器元件更靠近熔池，並且該分級噴嘴比該第二燃燒器元件更靠近該頂。

【請求項19】 一種在一熔爐中運行如請求項1所述之燃燒器之方法，該方法包括：

使一總氧化劑流流向該燃燒器，該總氧化劑流由分配在該第一環形噴嘴與該第二環形噴嘴之間之一主要氧化劑流及提供至該分級噴嘴之一次要氧化劑流

組成，其中該主要氧化劑流為該總氧化劑流的60%至95%，並且其中該主要氧化劑流以0.9至1.1之比分配在該第一環形噴嘴與該第二環形噴嘴之間；

使一總燃料流流向該燃燒器，及

在一比例模式與一交替模式之間切換該燃燒器之運行；

其中在該比例模式中，該總燃料流被分配在該第一內部噴嘴與該第二內部噴嘴之間，使得該第一燃燒器元件之當量比為1.05至1.5，且該第二燃燒器元件之當量比為1.05至1.5；

並且其中在該交替模式中，分配在該第一內部噴嘴與該第二內部噴嘴之間之該總燃料流在一第一狀態與一第二狀態之間來回切換，在該第一狀態中該第一燃燒器元件處於主動而該第二燃燒器元件處於被動，且在該第二狀態中該第一燃燒器元件處於被動而該第一燃燒器元件處於主動，其中一主動燃燒器元件以1.4至3之當量比來表徵，且一被動燃燒器元件以0.1至1之當量比來表徵；且

其中當量比1表示燃料與氧化劑之化學計量比，大於1之當量比表示富燃料之化學計量比，且小於1之當量比表示貧燃料之化學計量比。

【發明圖式】

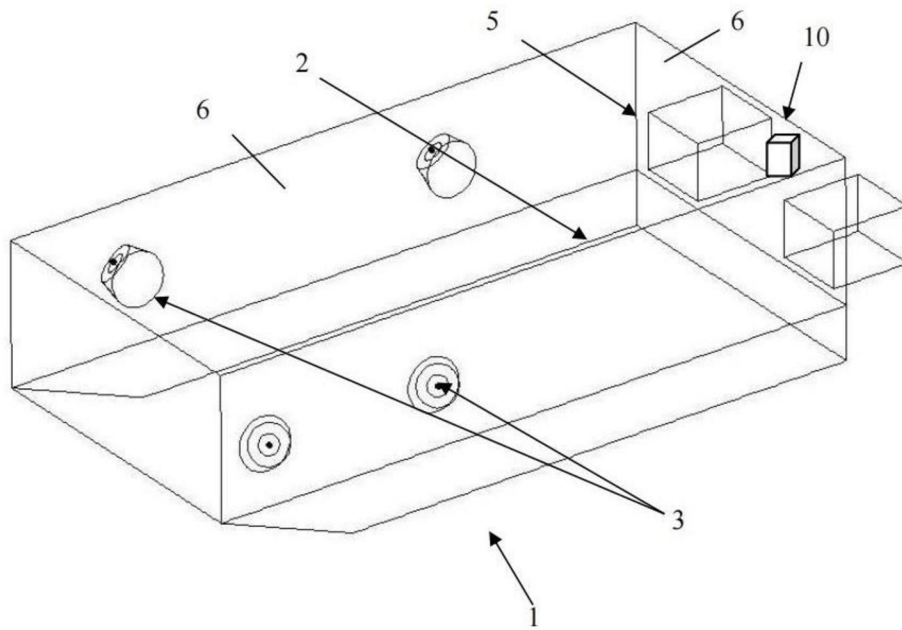


圖1

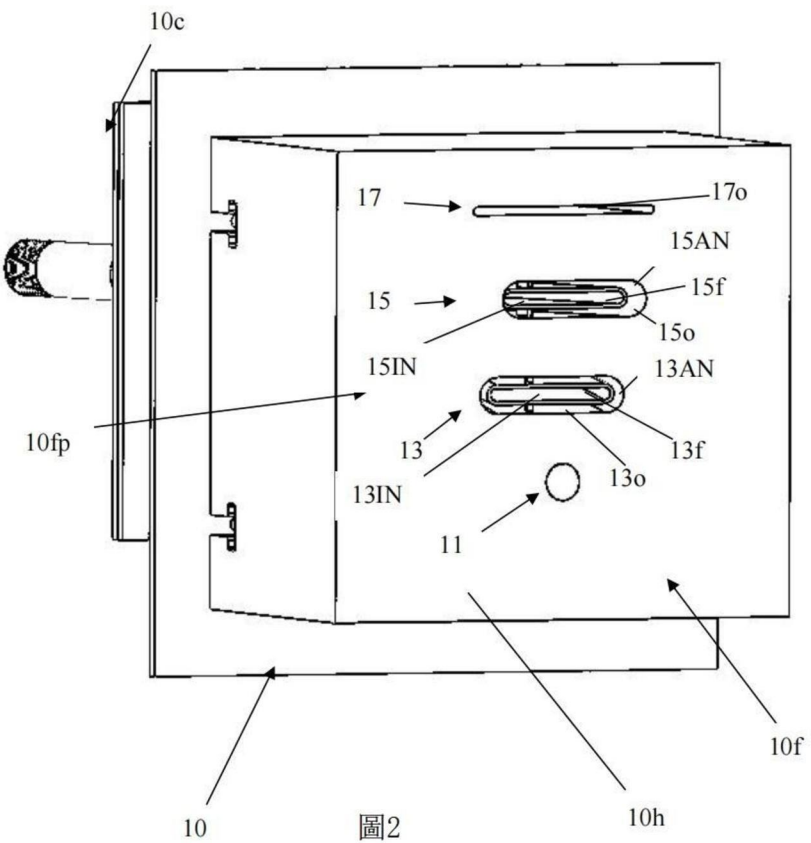


圖2

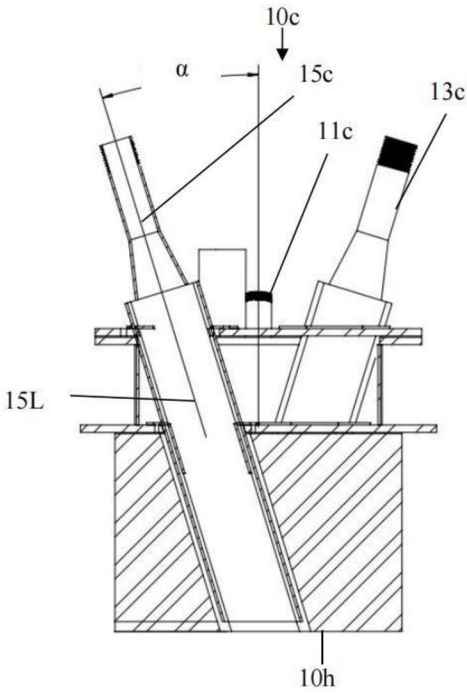


圖3

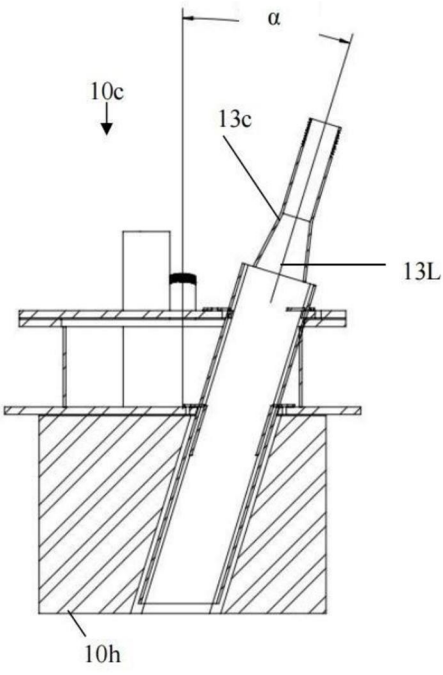


圖4

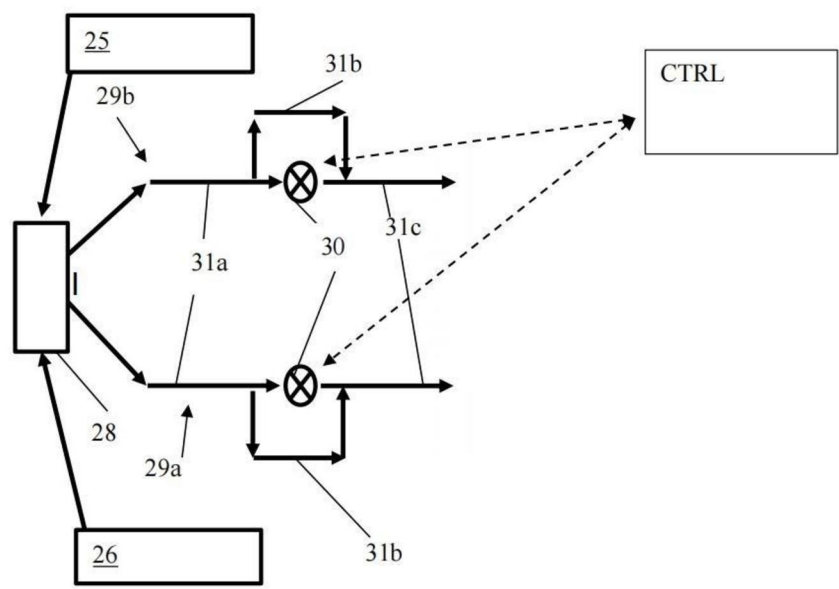


圖5

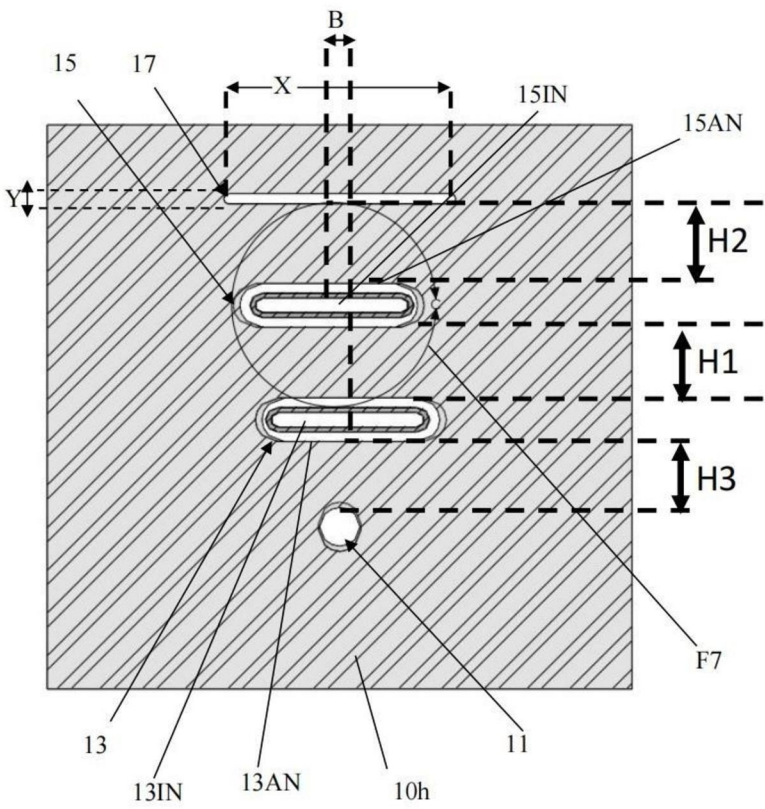
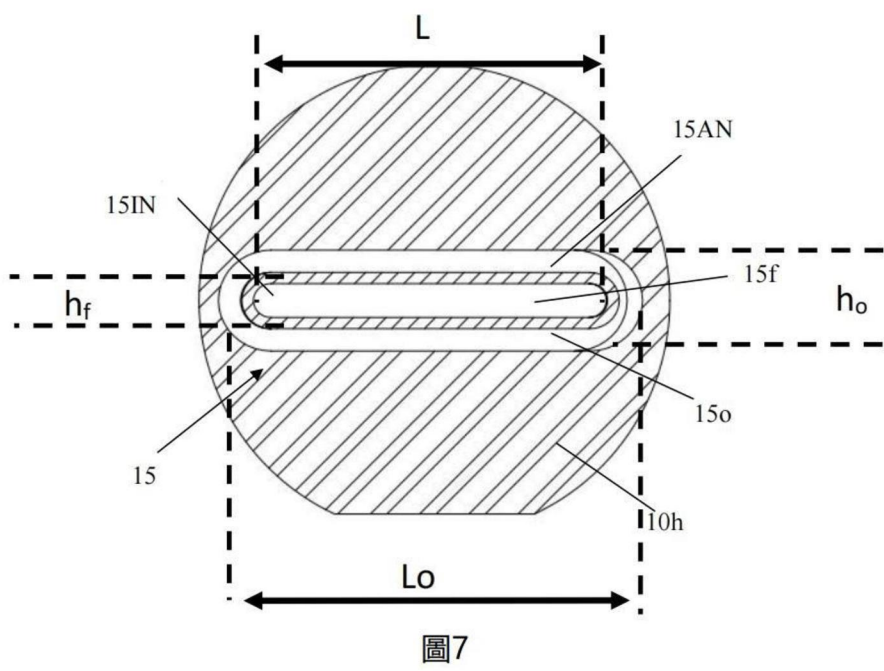


圖6



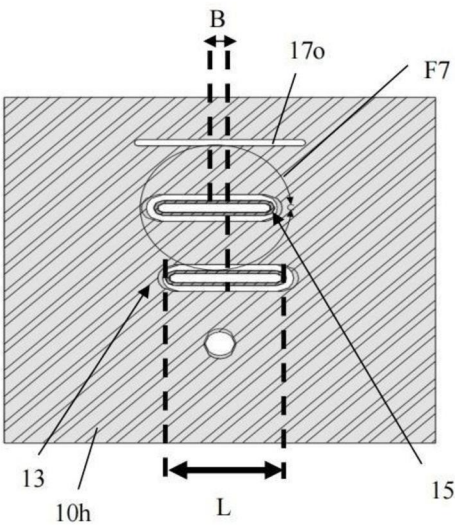


圖8

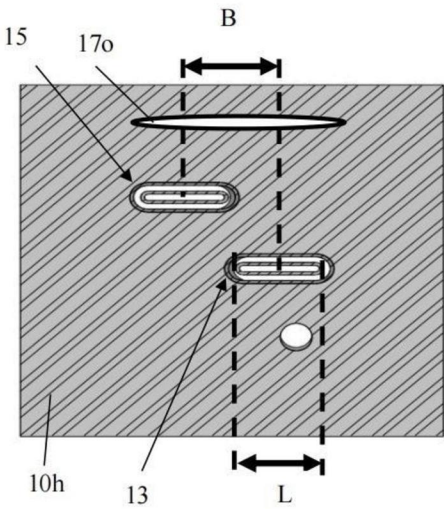


圖9

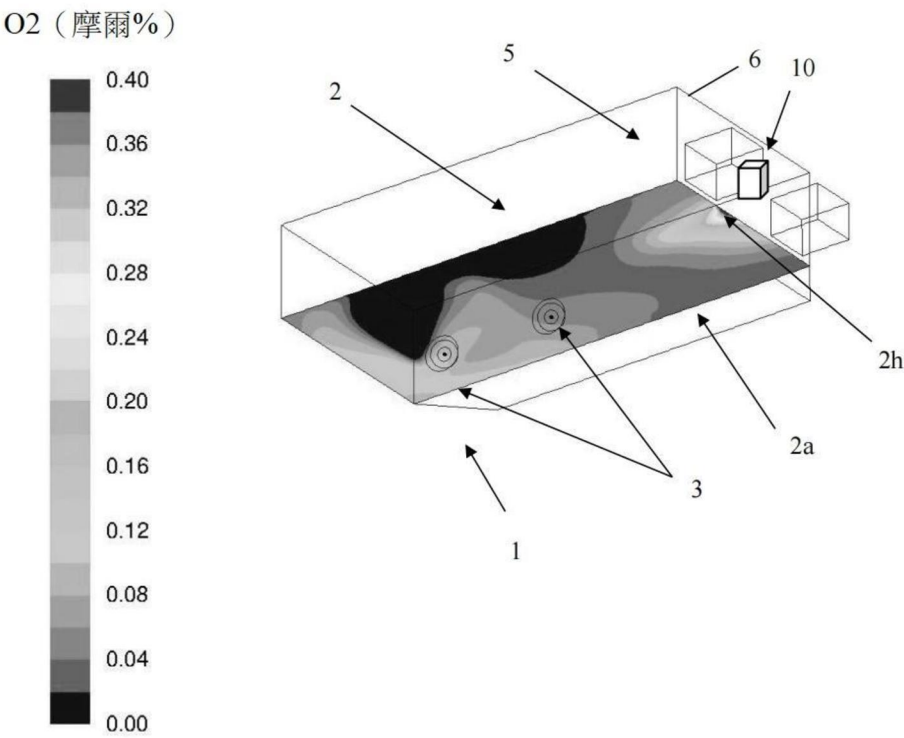


圖10

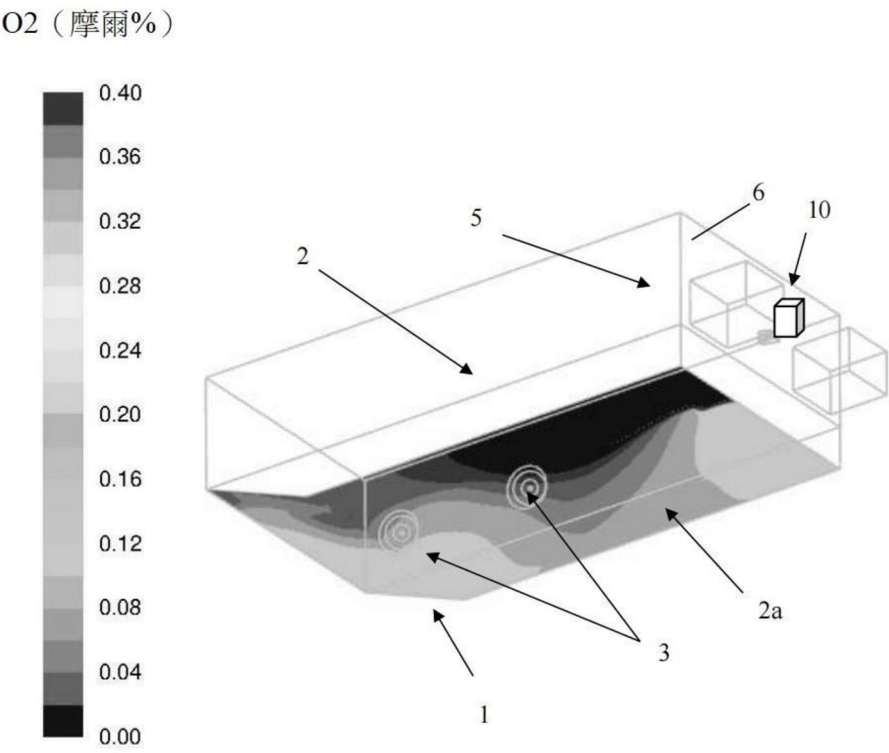


圖11

正規化NOx
(lbs/MMBtu)

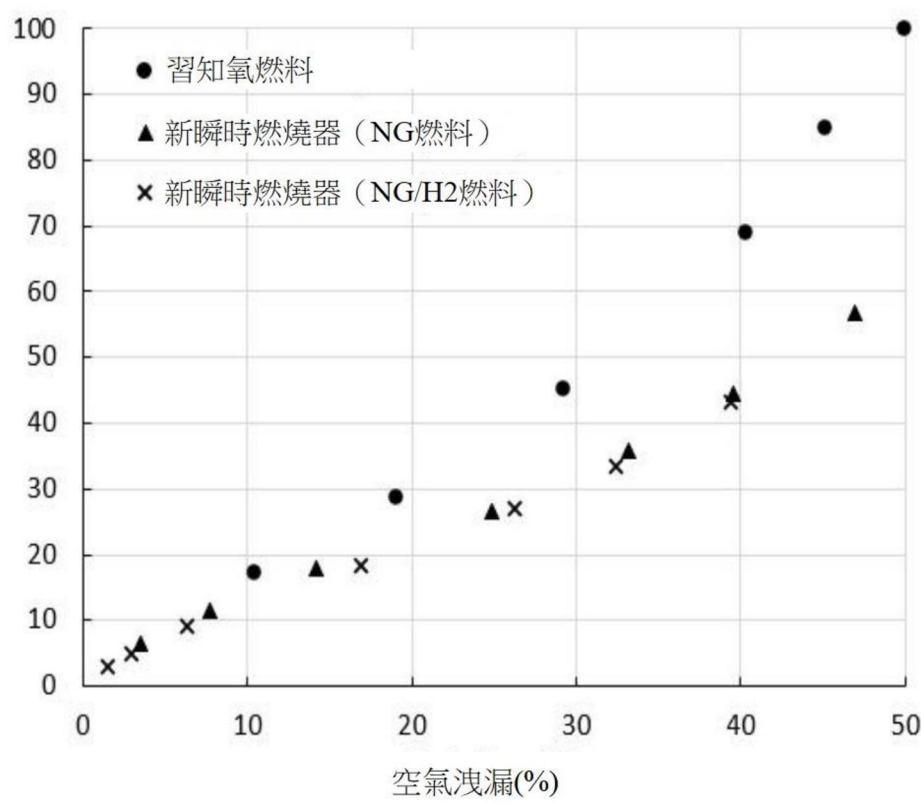


圖12