I390145

(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 I390145B1

(45)公告日： 中華民國 102 (2013) 年 03 月 21 日

(21)申請案號：098106331 (22)申請日： 中華民國 98 (2009) 年 02 月 27 日

(51)Int. Cl.： *F17C1/00 (2006.01)*

(30)優先權：2008/03/31 美國 61/072,502

(71)申請人：羅門哈斯公司 (美國) ROHM AND HAAS COMPANY (US)
美國

(72)發明人：德寇希 麥克 DECOURCY, MICHAEL (US)；艾德 詹姆士 ELDER, JAMES (US)；海爾 提摩西 HALE, TIMOTHY (US)；李 南 郭寇 LE, NAM QUOC (US)；葡瞿 派特克 PUGH, PATRICK (US)；索森 約翰 SORNSON, JOHN (US)

(74)代理人：洪武雄；陳昭誠

(56)參考文獻：

TW 200624721A JP 7-235325A

JP 2007-521126A US 5750278

US 2001/0022302A1

審查人員：施文彬

申請專利範圍項數：17 項 圖式數：26 共 0 頁

(54)名稱

用於爆燃壓力衰減之方法及設備

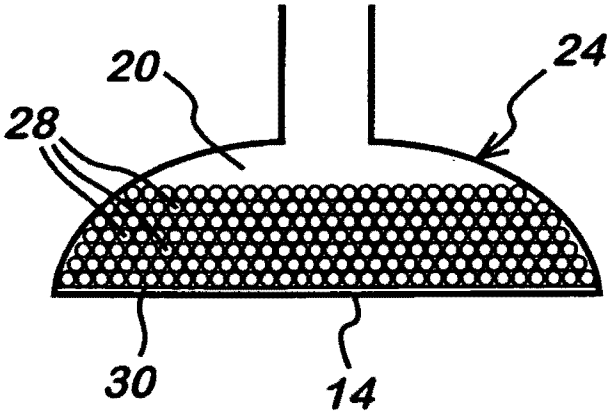
METHOD AND APPARATUS FOR DEFLAGRATION PRESSURE ATTENUATION

(57)摘要

用於爆燃壓力衰減之方法，該爆燃壓力係由可燃氣體於製程容器之界定區域內燃燒所產生。該方法通常包括選擇衰減材料，並將該材料放置於該製程容器之界定區域內，其中，所選擇之衰減材料於操作條件下仍保持其物理形狀。該衰減材料應占該製程容器之界定區域體積的至少 20%。本發明之使用可有利地應用於具有高烴濃度之可燃饋料的氧化反應器之安全操作，以達到提高之生產力。本發明亦提供管狀反應器，其係適用於衰減可燃氣體於管狀反應器之界定區域內燃燒所產生之爆燃壓力，其中該管狀反應器之界定區域包含根據上述爆燃壓力之衰減方法所選擇的衰減材料，該衰減材料係包含複數種成分，且該等成分係放置成使得成分間之空隙與開放路徑最小化。亦提供能於可燃操作條件下安全地實施氣相反應之方法，其中，包含烴與氧氣之氣體饋料組成物係於內部具有衰減材料之反應容器中反應，且該反應係於致使反應系統為可燃狀態之溫度與壓力下進行。藉由使用本發明之設備，可達到完全之壓力圍阻(pressure containment)，從而免除對緊急壓力釋放裝置之需求。

A method for attenuating deflagration pressure produced by combustion of combustible gas in a defined region of a process vessel. The method generally comprises selecting and placing attenuating material in the defined region of the process vessel, wherein the selected attenuating material maintains its physical shape under the operating conditions. The attenuating material should occupy at least 20% of the volume of the defined region of the process vessel. Use of the inventive method may be beneficially applied for the safe operation of oxidation reactors with flammable, high hydrocarbon concentration feeds in order to attain increased productivity. The invention also provides a tubular reactor adapted for attenuation of deflagration

pressure resulting from combustion of combustible gas in a defined region therein, wherein the defined region of the tubular reactor comprises attenuating material selected in accordance with the aforesaid method for attenuating deflagration pressure and which have a plurality of components which are placed such that void spaces and open pathways between the components are minimized. A method for performing gas phase reactions safely under flammable operating conditions is also provided, wherein a gas feed composition comprising a hydrocarbon and oxygen is subjected reaction in a reaction vessel having attenuating materials therein and the reaction is conducted at a temperature and a pressure which render the reaction system flammable. By using the inventive apparatus, full pressure containment may be achieved, thereby eliminating the need for emergency pressure relief devices.



第3B圖

14・・・有孔板

20・・・界定入口區域

24・・・反應器頭部

28・・・衰減材料之成分

30・・・陶瓷網或線篩板

公告本

發明專利說明書

（本說明書格式、順序，請勿任意更動，※記號部分請勿填寫）

※申請案號：98106351

※申請日：98.2.27　　※IPC分類：F01C 1/00 (2006.01)

一、發明名稱：（中文/英文）

用於爆燃壓力衰減之方法及設備

METHOD AND APPARATUS FOR DEFLAGRATION PRESSURE ATTENUATION

二、中文發明摘要：

用於爆燃壓力衰減之方法，該爆燃壓力係由可燃氣體於製程容器之界定區域內燃燒所產生。該方法通常包括選擇衰減材料，並將該材料放置於該製程容器之界定區域內，其中，所選擇之衰減材料於操作條件下仍保持其物理形狀。該衰減材料應占該製程容器之界定區域體積的至少20%。本發明之使用可有利地應用於具有高烴濃度之可燃饋料的氧化反應器之安全操作，以達到提高之生產力。本發明亦提供管狀反應器，其係適用於衰減可燃氣體於管狀反應器之界定區域內燃燒所產生之爆燃壓力，其中該管狀反應器之界定區域包含根據上述爆燃壓力之衰減方法所選擇的衰減材料，該衰減材料係包含複數種成分，且該等成分係放置成使得成分間之空隙與開放路徑最小化。亦提供能於可燃操作條件下安全地實施氣相反應之方法，其中，包含烴與氧氣之氣體饋料組成物係於內部具有衰減材料之反應容器中反應，且該反應係於致使反應系統為可燃狀態之溫度與壓力下進行。藉由使用本發明之設備，可達到完全之壓力圍阻(pressure containment)，從而免除對緊急壓力釋放裝置之需求。

三、英文發明摘要：

A method for attenuating deflagration pressure produced by combustion of combustible gas in a defined region of a process vessel. The method generally comprises selecting and placing attenuating material in the defined region of the process vessel, wherein the selected attenuating material maintains its physical shape under the operating conditions. The attenuating material should occupy at least 20% of the volume of the defined region of the process vessel. Use of the inventive method may be beneficially applied for the safe operation of oxidation reactors with flammable, high hydrocarbon concentration feeds in order to attain increased productivity. The invention also provides a tubular reactor adapted for attenuation of deflagration pressure resulting from combustion of combustible gas in a defined region therein, wherein the defined region of the tubular reactor comprises attenuating material selected in accordance with the aforesaid method for attenuating deflagration pressure and which have a plurality of components which are placed such that void spaces and open pathways between the components are minimized. A method for performing gas phase reactions safely under flammable operating conditions is also provided, wherein a gas feed composition comprising a hydrocarbon and oxygen is subjected reaction in a reaction vessel having attenuating materials therein and the reaction is conducted at a temperature and a pressure which render the reaction system flammable. By using the inventive apparatus, full pressure containment may be achieved, thereby eliminating the need for emergency pressure relief devices.

四、指定代表圖：

(一)本案指定代表圖為：第（ 3B ）圖。

(二)本代表圖之元件符號簡單說明：

14	有孔板	20	界定入口區域
24	反應器頭部	28	衰減材料之成分
30	陶瓷網或線篩板		

五、本案若有化學式時，請揭示最能顯示發明特徵的化學式：

本案無代表化學式

六、發明說明：

【發明所屬之技術領域】

本發明係有關用於控制、圍阻與抑制製程容器內之可燃氣體爆炸的方法及設備。

【先前技術】

可燃材料的處理，雖然為許多工業製程及設備所需，但由於可燃材料於製程裝備中具有燃燒、引爆(detonation)或爆炸的潛在可能性，經常存在危險，因而會損壞裝備並傷害員工。可燃材料通常以液體、氣體或二者並存之形式存在於多種製造製程(諸如，製備(甲基)丙烯酸鹽、(甲基)丙烯酸酯、腈及多種其他材料)所使用的反應器、管道、儲存容器、分離設備等之中。

當可燃氣體與氧氣以足夠之體積濃度存在時，將此混合氣體曝露於點火源例如火花、化學反應、熱線或其他熱表面，甚至是熱點(亦即，大量流體中溫度升高之局部區域)，即可引發可燃氣體之局部爆燃。可燃氣體之濃度高於該可燃氣體爆炸下限以及低於該可燃氣體爆炸上限時，通常造成爆燃。當然，可燃氣體可由單一種氣體組成，但通常可燃氣體為一種或多種不同氣體之混合物，該不同氣體之特定組成物致使混合物可燃。由於不可能百分之百防止非故意點火，故可燃氣體存在之處總有爆燃之風險。

最終，爆燃可能會或可能不會引起一種或多種進一步的危險事件，例如，引爆或爆炸。當然，此等事件有可能造成裝備之嚴重損壞，並可能對操作及監視該裝備之員工

造成重大傷害甚至死亡。因此，可燃材料的點火、燃燒、爆燃及引爆或爆炸之控制、圍阻與抑制對於多種工業製造及製程操作的安全與連續之操作而言具有關鍵重要性。某些設備及技術針對避免點火一事，而其他設備及技術試圖圍阻、抑制或熄滅燃燒事件，該燃燒事件若不圍阻、抑制或熄滅則會形成後續之非故意點火。參見例如：Grossel, Stanley S., Ed., *Deflagration and Detonation Flame Arresters*, AIChE (Center for Chemical Process Safety), New York, New York (2002), Chapter 5, pp. 77-138。

舉例而言，美國專利案第 3,356,256 號揭示於燃料儲存容器內使用散熱金屬網作為吸收該容器內可能導致點火之熱的裝置。美國專利案第 4,613,054 號揭示使用具有高導熱性之鋁箔球來達到相同結果。上揭兩種方法均試圖使用散熱器來防止連續燃燒的發生。

同樣地，Fauske(參見：Fauske, Hans K., *Expanded-Metal Networks: A Safety Net to Thwart Gas Explosions*, Chemical Engineering Progress, Dec 2001, pp. 66-71)提出於存儲箱中使用經展開之金屬箔作為散熱器，以藉由移除燃燒區之熱能而防止火焰鋒面傳播(flame-front propagation)。Fauske 藉由使用用於火焰淬滅之窄通道及高表面積(400 平方公尺/立方公尺(m^2/m^3)或更高者)金屬箔來模仿爆燃阻止器(deflagration arrestors)之設計。於相對靜止之存儲箱內，此等窄通道係無足輕重。然而，於製程容器(例如，反應器)中，製程

流體流經窄通道會造成橫跨該容器之壓力降增大，因而增加原動力能量消耗(motive-force energy consumption)。此外，為了使金屬箔網有效地淬滅燃燒(並藉此防止引爆或爆炸之接續進行)，必須維持足夠大之溫差(ΔT)，藉此才能將燃燒區之熱能快速地轉移至金屬箔。不幸地，多數用於處理、反應或儲存可燃氣體之製程容器皆係於高溫及/或高壓條件下操作。如烴加工技藝中所熟知者，增高之熱與壓力二者均會擴大可燃極限(flammability limit)(即更大範圍之組成物會支持燃燒)並降低維持自持燃燒所需之遞增能量。因此，於多數可燃氣體製程容器(例如，氧化反應器)中使用散熱成分(例如，膨脹金屬箔)來淬滅燃燒係大半無效。於此等高溫及高壓製程容器內，爆燃壓力波(deflagration pressure wave)以及火焰鋒面(flame front)之傳播速度過快，使得吸熱作用無法以足以淬滅燃燒之速率出現。

美國專利案第 5,495,893 號揭示用於控制氣體爆燃之設備及方法，其中該設備包括觸發爆燃抑制劑傳送至可燃物質內之可燃物質檢測器，其係藉由液體霧化裝置來控制該液體抑制劑之液滴尺寸。該專利案之揭示內容指出，藉由吸熱(例如，使用可快速汽化之細霧狀液體流(亦即，爆燃抑制劑)迅速地移除藉以傳播爆燃之熱)可有效地抑制爆燃。此解決方案係以下述理解為基礎：於爆燃情況下，可燃氣體之燃燒會引發藉由將熱及/或自由基傳輸至相鄰可燃氣體分子而向外傳播之化學反應。熱及/或自由基之傳輸

點燃了相鄰分子，並以此方式使爆燃向外傳播或蔓延至整個可燃氣體。

美國專利案第 6,540,029 號揭示一種爆燃抑制及爆炸隔離系統，該系統之目標在於抑制爆炸之爆燃階段並防止源於圍阻結構(containment structure)之爆燃現象傳播至關聯導管而接著於該導管內轉變為引爆現象。該專利案所敘述之系統包括用於檢測壓力快速升高之壓力檢測器(壓力快速升高係表示處於爆炸之初期)，將火焰抑制劑導入可燃氣體中之抑制裝置，以及閘閥組合件，該閘閥組合件係隨著該抑製劑之釋放而依序關閉以使火焰與燃燒所產生之壓力改向。同樣地，美國專利案第 6,540,029 號之裝置於操作時將附加材料，即抑製劑，引入可燃氣體中以用於吸收熱，不然該熱促進爆燃之傳播及使爆燃轉變為爆炸。該專利案教示，於爆燃事件期間，壓力波以及火焰鋒面係於點火處產生並自該處朝所有方向向外傳播，且壓力波之傳播速度大於火焰鋒面之傳播速度。再者，含有可燃氣體之管道(pipe)或導管(conduit)內的障礙及彎折將會增加擾動(turbulence)(亦即，混合)，而隨後加速由爆燃轉變為引爆。如該項技藝所熟知，在實施爆燃控制手段時應避免增加可燃氣體之擾動及混合。

Razus D.等人(Razus D., et al., *Closed vessel combustion of propylene-air mixtures in the presence of exhaust gas*, Fuel (2007), doi：10.1016/j.fuel.2006.12.009)發現，爆炸於密閉容器內傳播之特徵參數包

括爆燃後所達到之尖峰壓力、達到該尖峰壓力所需之時間、以及藉由在點火後將稀釋材料引入可燃氣體而達成之尖峰壓力的下降。這篇研究論文之結論為：典型包含二氧化碳與水蒸氣之廢氣對於易燃性燃料-空氣混合物具有重要的惰性化效果(inerting effect)，且可用作緩和燃料-空氣爆炸之廉價稀釋劑。雖然此技術可控制或最小化點燃可燃氣體後所產生之爆炸，但其藉由加入惰性材料之方式達成，此係與於點燃後將火焰抑制劑引入可燃氣體中以吸收熱並減緩爆燃過程中火焰鋒面之傳播的方法類似。

美國專利案第 6,932,950 號所揭示之技術係嘗試最小化或消除二級反應，該二級反應包括但不限於點火及爆燃，此係較可能發生於管狀反應器之入口側，於該處饋料氣體混合物為即將與鄰近該反應器之入口管板(inlet tube-sheet)的熱點接觸之可燃氣體。該專利案亦探討先前已知之實施方式，即於入口腔內鄰近位於進氣口側之入口管板處放置陶瓷材料層或線網，但其充填量不超過該入口腔體積之約 20%，以於輸入之饋料氣體與該熱管板之間形成阻擋層。所揭示之其他方法包括形成鄰近該熱管板之冷卻腔(腔內充填循環空氣)，以及形成固體阻擋層(例如，使用澆注樹脂材料於載熱體側形成鄰近該管板之層體，以使該管板與載熱體熱絕緣)。美國專利案第 6,932,950 號所揭示之解決方法係於該反應器之入口腔內、在該管板之入口側並靠近該管板處提供一個分離的絕緣腔。絕緣腔之尺寸與形狀係與該管板之橫截面相稱，該絕緣腔可為空腔或於

腔內充填空氣、沙、油或其他適當且不會與載熱體反應之任意固體、液體或氣相材料。上揭所有此等技術之目的在於，藉由在熱管板與輸入之氣相饋料流之間放置阻擋材料，以防止點火與其他非所欲之副反應。此等技術完全未教導於反應器之氣體入口或出口區域充填具有適當形狀及尺寸之衰減材料，該衰減材料係於非故意點火後偏轉爆燃之壓力波，藉此以淬滅及圍阻爆燃並防止爆燃發展為引爆。

美國專利案第 7,000,630 號揭示用於使爆燃之火焰鋒面物理性轉向之裝置，其中火焰鋒面轉向器將高速壓力波導向一個雙向可破裂盤，造成該盤裂開，藉此於該雙向可破裂盤之相反方向產生吸入效果，此舉產生該壓力波及火焰鋒面之逃逸路徑並吸入新鮮空氣作為稀釋劑。該專利案所揭示之火焰鋒面轉向器係設計為防止爆燃從一個容器傳播至另一個容器。

仍需要一種有效、簡單且經濟的方法來控制、圍阻及抑制製程容器內可燃氣體之爆炸。因應此需求，申請人已研發出一種方法，其係藉由衰減、進而藉此弱化爆燃期間所產生之壓力波，以防止爆燃轉變為引爆；而非試圖藉由在製程容器內提供習知之吸熱固體材料或於點火發生後引入阻燃劑或火焰抑制劑，以自被點燃之可燃氣體中移除熱，進而抑制並淬滅火焰鋒面。

【發明內容】

本發明係提供用於衰減可燃氣體於製程容器之界定區域內、於已知操作條件(包括初始饋料氣體組成物、溫度及

壓力)下燃燒所產生之爆燃壓力的方法，其中，該界定區域內之尖峰壓力係於點火後達到。該方法通常包括選擇衰減材料並將該材料放置於製程容器之界定區域內，其中所選擇之該衰減材料於操作條件下仍保持其物理形狀且具有複數成分，且所有成分皆具有幾何性質(geometry)及有效直徑。該衰減材料應占該製程容器之界定區域體積的至少20%。

該方法之第一步驟係藉由研究包含尖峰爆燃壓力(peak deflagration pressure)與爆燃混合因子之關聯對(associated pairs)的經驗資料，來測定適用於該製程容器界定區域之衰減材料成分的最大有效直徑，該經驗資料係說明複數種衰減材料與可燃氣體點火後所到達之尖峰壓力間的線性關係，至少一種該衰減材料所具有之成分的有效直徑係與其他衰減材料之成分的有效直徑不同，且該可燃氣體係具有與初始饋料氣體組成物相同之組成。此方法係藉由下述步驟完成：(1)使用半徑為R(ts)之測試球，於不存在任何衰減材料之情況下，依據經驗測定該可燃氣體點火所產生之尖峰爆燃壓力(Pmax(0))；(2)使用與步驟(1)所用相同之測試球，於至少存在具有第一有效直徑(Ds(1))之所選擇的第一衰減材料以及具有不同於第一有效直徑之第二有效直徑(Ds(2))之所選擇的第二衰減材料之情況下，依據經驗測定該可燃氣體點火所產生之至少第一尖峰爆燃壓力(Pmax(1))及第二尖峰爆燃壓力(Pmax(2))；(3)使用下列數學關係：DMF(n)=(Ds(n)/Rts)×40 (其中 n＝0、

1、2…n，且 Ds(n)及 R(ts)係分別以厘米為單位而測得）計算於步驟(1)及步驟(2)中依據經驗所測定之各關聯尖峰爆燃壓力的爆燃混合因子(DMF(0)、DMF(1)、DMF(2)…DMF(n))。於此等步驟後，基於下列數學關係：Pmax(n)=M×DMF(n)+B(其中 n＝0、1、2…n)決定可變數 M 及 B 之數值，藉此使得包含尖峰爆燃壓力與爆燃混合因子之關聯對([Pmax(0), DMF(0)])、([Pmax(1), DMF(1)])、([Pmax(2), DMF(2)])…([Pmax(n), DMF(n)])之經驗資料線性化。

線性化完成後，基於下列數學關係：DMF(a)=[P(c)-B]/M，使用該製程容器之最大容許圍阻壓力(P(c))以及步驟(4)所計算得之 M 與 B 之數值，計算該製程容器之最大爆燃混合因子(DMF(a))；隨後，再使用下列數學關係：Ds(a)=[DMF(a)×R(v)]/40 計算適於與橫截面半徑為 R(v)之製程容器併用的衰減材料之最大有效直徑(Ds(a))。

計算得到衰減材料成分之最大有效直徑(Ds(a))後，選擇適當的衰減材料。適當之衰減材料應具有小於或等於基於特定製程容器所計算得之最大有效直徑(Ds(a))的有效直徑 Ds，並將所選擇之材料放置於該製程容器之界定區域內。根據該衰減材料之成分是否為自排序(self-ordering)者而定，該衰減材料可簡單地傾倒於或以手工方式排列於製程容器之界定區域內，從而使得成分間之空隙及開放路徑最小化。

於本發明方法之一具體實施例中，依據經驗測定尖峰爆燃壓力(Pmax(0))之步驟可包括：(a)於預定操作條件之溫度及壓力下，點燃測試球中的可燃氣體，或者該測試球亦可為空的；以及接著(b)於點火後測量該測試球中所達到之最高壓力(Pmax(0))。此外，依據經驗測定至少第一尖峰爆燃壓力(Pmax(1))及第二尖峰爆燃壓力(Pmax(2))之步驟包括：(a)將所選擇之第一衰減材料充填入該測試球後，於預定操作條件之溫度及壓力下點燃測試球中的可燃氣體；(b)於點火後測量該充填所選擇之第一衰減材料的測試球中所達到之最高壓力(Pmax(1))；(c)將所選擇之第二衰減材料充填入該測試球後，於預定操作條件之溫度及壓力下點燃測試球中的可燃氣體；以及(d)於點火後測量該充填所選擇之第二衰減材料之測試球中所達到之最高壓力(Pmax(2))。亦可依據經驗測定複數個尖峰爆燃壓力(Pmax(1)、Pmax(2)、Pmax(3)…Pmax(n))，並接著將各個尖峰爆燃壓力使用於後續之計算及線性化步驟中。

於另一具體實施例中，該可燃氣體係包含烴及氧，以及該製程容器可為在流動條件下操作之殼管反應器。

本發明亦提供一種適用於衰減可燃氣體於其內燃燒所產生之爆燃壓力的管狀反應器。本發明之管狀反應器係包括具有複數種成分之衰減材料，所有成分皆具有幾何性質且被放置為使得成分間之空隙及開放路徑最小化，其中該衰減材料占該製程容器之界定入口區域與界定出口區域之至少一者的至少 20%。再者，該衰減材料之成分具有滿足

下列數學關係之有效直徑(Ds(a))：

Ds(a)=[DMF(a)×R(v)]/40(其中 Ds(a)係以厘米計)。此外，(DMF(a))為與衰減材料關聯之爆燃混合因子並係依據經驗藉由上揭之本發明方法所決定。最後，R(v)為被衰減材料占據之界定之入口區域或界定之出口區域之任一者之半徑。

本發明進一步提供於易燃操作條件(包括氣體饋料組成物、溫度及壓力)下安全地實施氣相反應之方法。該方法包括：(A)提供具有界定區域之反應容器，該氣體饋料組成物係通過該界定區域，該界定區域體積之至少 20%係被至少一種衰減材料所占據，該衰減材料於易燃操作條件下仍維持其物理形狀；(B)於該反應容器中提供一種或多種包括烴、含氧氣體及視需要之惰性材料之氣相材料，以形成該通過界定區域之氣相饋料組成物；以及(C)使該氣相饋料組成物於反應容器中、於可使該氣相饋料組成物易燃之溫度或壓力下進行一種或多種反應。

該衰減材料可根據上揭用於衰減可燃氣體燃燒所產生之爆燃壓力的方法予以選擇。用於在易燃操作條件下安全地實施氣相反應之方法的一具體實施例中，係使包含丙烯之烴於具有衰減材料之反應容器內進行氧化反應，該衰減材料包含捲曲線網柱(crimped wire mesh cylinder)及捲曲線網多面體(crimped wire mesh polyhedron)。用於在易燃操作條件下安全地實施氣相反應之方法的另一具體實施例中，該氣相材料進一步包括氨，該烴包括甲烷，以及

該氣相反應包括甲烷之氨氧化，其中該衰減材料包括陶瓷泡沫多面體(ceramic foam polyhedron)。

【實施方式】

本發明之方法係適用於衰減於製程容器之界定區域內燃燒可燃氣體所產生之爆燃壓力。該方法包括選擇衰減材料並將該衰減材料放置於該界定區域，從而偏轉及分裂(fragment)與爆燃相關聯之壓力波。

“製程容器”係指用於與可燃物質之存儲、運輸、反應、製造、處理或其他操作相關之任何設備。

本文所用術語“界定區域”係指位於製程容器內欲使其免於爆燃影響之指定區域。該界定區域典型為含有可燃氣體之封閉區域或為該製程容器中爆燃風險最大之區域。該界定區域之位置、幾何性質及體積將根據應用及製程容器而改變。

本文所用術語“充填體積(volume-fill)”係指界定區域中被衰減材料占據之表觀體積(apparent volume)，其係等於衰減材料成分實際占據之體積與該等成分間之裂縫的空隙體積之和。

“可燃氣體”係指與氧氣以足夠之組成及體積濃度存在之氣體，且將其曝露於點火源例如火花、化學反應、熱線或其他熱表面，甚至是熱點(亦即，大量流體中溫度升高之局部區域)時，即可引發可燃氣體之局部爆燃。當然，可燃氣體可由單一種氣體如氫、丁烷、丙烯等組成，但通常可燃氣體為一種或多種不同氣體之混合物，該不同氣體之

特定組成物致使混合物可燃。

雖不欲受理論所限制，但咸信可燃氣體從點火至引爆及爆炸的條件之發展(progression)通常可理解為以下述方式進行。點火後，可燃氣體於點火源的局部燃燒會立即形成球狀火焰鋒面及球狀壓力波。該壓力波及火焰鋒面二者均向外並沿著遠離該點火處之所有方向呈放射性傳播至可燃氣體之未受影響部份。長期以來，已了解火焰鋒面之傳播涉及熱傳遞且其傳播速度遠低於壓力波之傳播速度(壓力波是以音速行進)。此爆炸之初期階段通常稱為爆燃，亦即：當壓力波與火焰鋒面係分開行進時，壓力波係領先者。

於爆燃過程中，火焰鋒面係藉由將熱及/或自由基傳遞至相鄰之可燃氣體分子而向外傳播，進而點燃該相鄰分子。自由基為含有未成對電子之原子的任何反應性基團，如 OH、H 及 CH_3。

再者，於爆燃過程中，壓力波之能量可壓縮位於該壓力波前方之可燃氣體的未燃燒部份，藉此降低於該可燃氣體之那些未燃燒部份維繫燃燒所需之熱能需求，故有助於進一步燃燒，加速火焰鋒面之前進並增強壓力波之推進。此壓力波之強化過程持續進行直至壓力波本身之強度足以引發燃燒反應，進而引發引爆階段。最初，引爆波將傳播至被壓縮的可燃氣體中並趕上最前方之壓力波，變成等速之安定引爆波。安定引爆波係由緊密耦合之壓力波與火焰鋒面構成，藉此該火焰鋒面所釋放之能量可支持該壓力波。

當爆燃發生於軸向輸送內部材料之管道或導管中，且火焰鋒面到達該管道或導管之壁時，火焰鋒面會由球形轉變為實質平面之鋒面。該平面火焰鋒面繼續沿著管道之長度向下傳播，火焰鋒面開始伸展且火焰表面增加。隨著火焰表面增加，燃燒速度增大，結果火焰傳播速度增大。換句話說，於導管中傳播之火焰鋒面可以自初始爆燃狀態快速轉變為引爆狀態。

可燃材料之分子尺寸影響整體爆炸現象，燃燒產物流經之導管或容器的直徑亦影響整體爆炸現象。舉例而言，相較於較小直徑之管道與導管，具有較大直徑之管道係提供較小之散熱器。管道或導管之縱向構形也會影響火焰鋒面及壓力波之傳播。於此技藝中已知，管道或導管內的障礙及彎折會增加擾動並進而增加火焰表面積，導致火焰鋒面之擴大並加速轉變為引爆狀態。

請暫時參閱第 8 圖，其係顯示典型可燃氣體混合物之簡化爆炸圖解。當然，於實務上，各個具有特定組成之可燃氣體混合物係具有其獨特之此爆炸圖解。此等圖解常見於技術文獻中，如 W. Bartknecht 所著《爆炸(Explosions)》(Springer-Verlag, New York, 1981)，尤其該書第 2 章之“密閉容器內的爆炸(Explosions in Closed Vessels)”。用於獲取製作此等圖解所需之資料的標準測試方法學亦已被開發出來(參見：如 2003 年 9 月制訂之歐洲標準(European Standards) DIN EN 13673-1 及 DIN EN 13673-2)。此等方法學通常需要於初始時將待測試之可燃

氣體混合物置於密封之隔熱測試球中並將其保持於靜止狀態，該測試球亦可為空的(例如，無充填材料)。

第 8 圖之圖解說明了於一可燃氣體體積中爆燃壓力(或「爆炸壓力」)事件之典型進程，其係作為相對於該可燃氣體被點燃時刻之流逝時間的函數。該圖解通常包括三個連續階段。

於第一階段，即點火前，該氣體混合物係處於具有恆定初始壓力($P_{initial}$)與初始溫度之靜止狀態。

於第二階段，即點火後，該氣體混合物燃燒，火焰鋒面及相關聯之壓力波形成並自點火處向外擴張。此造成壓力於時間間隔 Δt 內快速上升，直至達到最大爆燃壓力(P_{max})。此過渡狀態之時間間隔 Δt 典型係僅僅約 100 至 300 微秒之持續時間等級。很明顯地，足以抑制或延緩爆燃事件之熱轉移顯然需要更長的時間，如約 500 至 1000 微秒(即 0.0005 至 0.001 秒)之等級。

於第三階段，即到達 P_{max} 後，測試球內之壓力於時間間隔 ΔT 內降低，直至達到較低之“穩定狀態”壓力 P_{final}。於爆燃事件過程中，達到 P_{final} 所需之時間間隔 ΔT 典型為約 1000 微秒或更長之持續時間等級。

與先前技術所教示者相反，申請人發現於可燃氣體體積內促進其混合可獲得降低該最大爆燃壓力 P_{max} 之意外結果。

雖不欲受理論所限制，但申請人相信，於爆燃事件之第二階段(此時，壓力波自點火處向外快速擴張)期間發生

混合，可直接造成 P_{max} 之大小降低。此混合係壓力波經過本發明之壓力衰減材料時被迫改變方向與再分割之結果。相信此混合使得壓力圖(pressure profile)於氣體體積內「混雜(blend)」，藉此降低該波前之尖峰壓力與自該波前分離之較低主體氣體壓力(bulk-gas pressure)間的差異。

申請人進一步假設，第二階段壓力上升之時間間隔過短，使得熱轉移無法成為用於自擴張中的火焰鋒面移除熱之有效機制。因此，放置於可燃氣體體積內之任何衰減材料的熱力學性質與此爆燃之早期階段基本上無關，故對於 P_{max} 之衰減而言，預期隔熱材料可實現與高導熱性材料實質上相同之效果。

最後，申請人假設，爆燃事件第三階段發生之氣體壓力的逐步降低為驅使該氣體混合物趨向相對均勻之壓力與溫度圖的熵所造成之結果。若給予其足夠長之時間間隔，此熵作用終將導致氣體體積降低至最終穩定狀態壓力 P_{final}。然而需要強調的是，使用本發明之方法可明顯降低最大爆燃壓力 P_{max} 而非降低最終穩定狀態壓力 P_{final}。

儘管本發明之方法及設備可用於多種製備製程之多種類型的製程容器，但為了方便討論及理解，後文將以用於自烴類氣體如丙烷、丙烯、丁烷、丁烯等製備諸如不飽和羧酸、不飽和腈、醛等產物之催化性氣相反應的管狀反應器來說明。

請參閱第 1 圖，其係提供可適當地應用本發明之方法的製程容器之部分切除正視示意圖。尤其，第 1 圖係顯示

適用於催化性氣相反應之管狀反應器 10 的部分切除正視圖。該管狀反應器 10 具有複數根管 12a、12b、12c 及 12d，該複數根管係分別於第一有孔板 14 與第二有孔板 16 之間延伸，管內包含固體材料 S 諸如一種或多種類型之催化劑及惰性材料。該複數根管 12a、12b、12c 及 12d，以及該第一有孔板 14 與第二有孔板 16 係封閉於殼體 18 中，該殼體 18 形成用於在該複數根管 12a、12b、12c 及 12d 周圍循環熱轉移流體(未顯示)之區域，藉此實現溫度控制之目的。

仍請參閱第 1 圖，凸緣座(flanged cap)或“反應器頭部”24 係密封性地固定於鄰近該第一管板 14 之反應器 10 的周邊，藉此形成與反應器管 12a、12b、12c 及 12d 流體連通以允許反應物(未顯示)及其他流體流經其內部之界定入口區域 20 (defined inlet region)。同樣地，另一凸緣座或“反應器頭部”26 係密封性地固定於鄰近該第二管板 16 之反應器 10 的周邊，藉此形成亦與反應器管 12a、12b、12c 及 12d 流體連通以允許反應物、產物或其他流體(未顯示)流經其內部之界定出口區域 22。總而言之，該界定入口區域 20 及界定出口區域 22 與該複數根管 12a、12b、12c 及 12d 一起形成管狀反應器 10 之反應側，其中，於流動狀態下操作該反應器之過程中，該反應側發生一種或多種化學反應，例如氧化反應。界定入口區域 20 位於頂部而界定出口區域 22 位於底部之上述直立式管狀反應器配置，對所屬技術領域中具有通常知識者而言應已清楚說明了反應製程係以“下向流(downflow)”構形操作之。然

而，所屬技術領域中具有通常知識者亦可輕易理解，可將本發明之方法及設備同樣地應用於其他製程容器，包括以“上向流(upflow)”構形操作之管狀反應器(未顯示)，其中該界定入口區域係位於該管狀反應器之底部。

於本發明之某些具體實施例中，可將監視儀器(未顯示)置於製程容器之界定區域內以用於檢測燃燒、局部溫度升高或局部壓力升高，藉此可調整操作條件，包括但不限於疑難排解、降低操作速度或終止製程。此等監視儀器可包括熱電偶、壓力轉換器、起火電子眼(fire eye)與氣體組成分析儀中之一者或多者，且亦可視需要與分散式製程控制系統連接以引發自動反應。於某些具體實施例中，該監視儀器(未顯示)可與其他製程計算及測量(例如，易燃性計算或反應器饋料流流速)整合為安全連鎖邏輯系統。此外，於某些具體實施例中，可使用多重監視裝置來提高監視系統之可靠性。當使用多重裝置時，該等裝置可視需要配置為電腦化表決邏輯系統(computerized voting-logic system)之一部分，其中兩種或更多種測量必須於引發自動作用之前同時顯示非正常狀態。

舉例而言，於一具體實施例中，下向流管狀氧化反應器之界定入口區域(入口頭部)含有陶瓷球成分(ceramic sphere component)與至少十個多點熱電偶組合件，每個熱電偶組合件具有約10個測量點。各個熱電偶組合件係經由可封閉開口插入反應器頭部(入口)之頂部，以手工方式彎折設置而形成預定系列之具有均勻間隔的同心圓，然後再

夾持於位於入口管板上之預置錨架(pre-existing anchoring bracket)。於另一具體實施例中，上向流管狀氧化反應器之界定入口區域含有線網柱成分(wire mesh cylinder component)與至少六個具有316不銹鋼覆套之「K型」多點熱電偶組合件(來自Gayesco of Pasadena, Texas, USA之商品)。此具體實施例之多點熱電偶組合件係經由安裝於該入口反應器頭部側壁上之SWAGELOK迫緊壓蓋(packing gland)(來自Swagelok Company of Solon, Ohio, USA之商品)插入反應器，以手工方式彎折設置而使其鄰近於測量位置之預定分散區域，然後再使用短線在沿其長度方向上之多個位置固定於該網柱上。

於又一具體實施例中，氧化反應器之界定入口區域(入口頭部)內的可燃氣體饋料組成物之樣品係藉由氣相層析法予以持續分析，以檢測燃燒產物(例如，二氧化碳、一氧化碳及水)濃度之升高或可燃烴類濃度之降低。於再一具體實施例中，富含氧之氰化氫反應器的界定入口區域(入口頭部)係包含100%充填體積之40 ppi網狀陶瓷泡沫且亦含有至少兩個快速作用壓力轉換器(適用型號樣式為來自Kulite Semiconductor Products of New Jersey, USA之商品)，以檢測該界定入口區域內可能發生之爆燃，並於檢測到爆燃時藉由分散式製程控制系統自動引發該反應系統之停機。上述合併有監視儀器之本發明具體實施例僅為少數幾個實施例，而非意欲用於說明可根據本發明使用之可能配置的全部範疇。基於本揭示內容之有益效果，對於適

用之監視儀器與相關聯之製程控制、安全系統及連鎖邏輯系統所做出的選擇及說明，並未超出具有化學製程設計與儀器之通常知識者的能力範圍。

第2圖係顯示第1圖之管狀反應器10之界定入口區域20的剖面俯視示意圖，該圖係沿第1圖之A-A線截取並朝箭頭方向觀看。此圖中可觀察到該有孔板 14 及複數根管12a、12b、12c及12d。於此界定入口區域內，所有饋入該管狀反應器10之反應物及其他材料會相互接觸，隨後再進入管12a、12b、12c及12d並與管內之催化劑材料S接觸，藉此以於管12a、12b、12c及12d內開始一種或多種化學反應。依據饋入反應器10之反應物與其他材料，可燃氣體可存在於該界定入口區域20內，該可燃氣體易被來自任何數目之點火源的非故意點火所影響，該點火源包括但不限於鄰近該有孔板 14 處所產生之熱點及與位於該界定入口區域 20 內之其他設備摩擦或接觸所產生之火花。如上所述，此類點火可變成爆燃事件，而爆燃事件可依序傳播直至其轉變為引爆或爆炸。

已發現，爆燃壓力波之偏轉與分裂可延緩壓力波之傳播並降低藉由爆燃所達到之最大壓力，從而充分地淬滅整個爆燃事件並防止爆燃轉變為引爆且降低所達到之尖峰壓力(Pmax)。再者，亦已發現，藉由選擇適當的衰減材料並將其放置於燃燒與爆燃可能出現之界定區域(例如，管狀反應器10之界定入口區域20)內，即可達成爆燃壓力波之成功偏轉與分裂。如後文即將進一步詳細討論者，“適當的”

衰減材料係指基於材料之幾何性質(包括尺寸及形狀兩者)並相應於該界定區域之尺寸及形狀所選擇之衰減材料。

舉例而言，第 3A 圖係空的(亦即，其內部無放置任何衰減材料)界定入口區域 20 之剖面正視示意圖，其係關於衰減材料占據該界定入口區域 20 體積之 0%者。如上所述，由圖中可知，該界定入口區域 20 係藉由該入口管板 14 與該反應器頭部 24 所界限。如後文即將進一步詳細討論者，第 3B 圖係顯示本發明之一具體實施例，其中第 3A 圖之界定入口區域 20 係含有衰減材料，該衰減材料包含陶瓷球成分 28 並提供為該界定入口區域 20 體積之至少 20%的充填體積。

在如第 3B 圖所示之實例中，若界定入口區域係置於製程容器之頂部且該製程容器為具有直立式平行管之管狀反應器，則建議安裝橫跨該界定入口區域 20 之橫截面(參見例如第 2 圖)的阻擋層(例如，陶瓷網或線篩板(wire screen sheet)30)，藉此以防止衰減材料之成分 28 經由有孔管板 14(參見例如第 1 圖)進入管 12a、12b、12c 及 12d。使用阻擋層 30 特別有利，這是因為其允許於管 12a、12b、12c 及 12d 之各者的最上部分內維持空白空間(empty space)或“空洞區域(void region)”，該最上部分係指穿過該第一管板 14 之管端(tube end)。由於用於氧化反應之此等管狀反應器的管板 14 及 16 典型具有較大厚度，因此各管之最上部分的冷卻係到受限制。因此，此含有衰減材料、氧化催化劑或甚至惰性稀釋材料之區域將處於過熱狀態，並

可能於最後導致管與管板 14 間之焊接連接失效。除了維修費用外，此種管與管板 14 間之焊接連接的失效也會造成冷卻鹽自反應器 10 之殼體側洩漏至該反應器頭部 24 所形成之界定入口區域 20 內。如美國專利申請案公開第 2006/0292046 號所揭示者，典型包含硝酸鹽與亞硝酸鹽之冷卻鹽(例如，來自 DuPont of Wilmington, Delaware, USA 之商品 HITEC 鹽)釋放入該界定入口區域 20 中，並於後續發生分解反應時，將使丙烯氧化反應器饋料氣體之非所欲自動點火達到最高點。

於本發明之一具體實施例(未顯示)中，為了形成適當之阻擋層 30，係將一層 50 毫米(mm)(2 吋)厚(每吋 40 個孔(40ppi))之網狀陶瓷泡沫瓦(reticulated ceramic foam tile)直接放置於下向流丙烯氧化管狀反應器之入口管板上，以形成覆蓋該管板之整個橫截面區域的連續阻擋層，從而防止任何衰減材料落入管端。因此，係於各反應管之上端維持具有與該反應器入口管板之厚度相同的長度之空洞區域，即無任何材料之區域，藉此避免管與管板間之焊接連接的過熱現象。隨後，將包含 13 mm (1/2 吋) DENSTONE 2000 支撐球(來自 Saint-Gobain Norpro of Stow, Ohio, USA(從前之著名公司，現已與 Norton Chemical Process Products Corp. 合併)之商品)之衰減材料放入位於該阻擋層上方之該界定入口區域中，以根據本發明來衰減爆燃壓力。於此具體實施例中，該網狀陶瓷泡沫瓦可與該 DENSTONE 球一同視為衰減材料之一部分。此實例中之衰減材料，即

該陶瓷泡沫與球，應占該界定入口區域 20 總體積之至少 20%，例如至少 25%，或甚至至少 30%或至少 50%，其中衰減材料所占據之體積為該衰減材料成分體積與成分間之空隙體積的和。換句話說，係將提供該界定區域填充體積之至少 20%的衰減材料量放置於該界定區域中。

特別地，但不欲受理論所限制，於此技藝中通常認為在爆燃過程中應避免可燃氣體之混合與增加的擾動，因為該混合與增加的擾動將加速火焰鋒面之傳播並增加所達到之尖峰壓力，而使爆燃加速轉變為引爆；但與上揭理解相反的，已經發現，增加橫向混合同時減小軸向混合將使壓力波偏轉並分裂，藉此可自爆燃中移除足以使所達到之最大壓力降低的熱，延緩壓力波及火焰鋒面的傳播並阻止爆燃轉變為引爆。“軸向混合”係指增加軸向擾動之混合，軸向係壓力波與火焰鋒面傳播之方向；而“橫向混合”係指增加可燃氣體之非軸向(例如，但不限於，實質上垂直於該軸向之方向)擾動之混合。已經發現，使用具有較小有效直徑之固體或彎曲多孔衰減材料時，此橫向混合可如預期增加，但是，使用非常小的材料將會於處理反應物時出現過大之壓力降，而此避免過大壓力降之需求於某種程度上即限制了上述使用較小材料之優勢。舉例而言，沙子可以提供絕佳之壓力波衰減與分裂效果，但其亦於反應器之正常操作過程中造成巨大的、極不能接收的壓力降，因此，單獨使用沙子用作衰減材料並非典型的較佳選擇。

再者，熟悉此相關技藝之人士之通常認為爆燃、引爆

及爆炸防護之關鍵為熱的轉移與移除，但與之相反的，已經發現最終可降低爆燃事件之強度並避免引爆者為壓力波之成功偏轉與分裂，而非藉由熱轉移力而予以完全控制，且該壓力波之成功偏轉與分裂亦高度取決於：(1)放置於含有可燃氣體之界定區域內的衰減材料成分之尺寸與形狀，即幾何性質，以及(2)該界定區域本身之尺寸。因此，對於點火後達到的最大爆燃壓力 Pmax 而言，出乎意料的是，構成該衰減材料成分之材料(及藉此所得之相關聯導熱性)的重要性係低於該衰減材料成分之幾何性質，這一點已經被確認。與具有更合適之形狀與尺寸的非金屬材料相比，某些被認為可成功地淬滅爆燃並阻止引爆的金屬材料之實際表現能力反而更弱。再者，已證實某些幾何形狀明顯比其他幾何形狀更有效，例如，當放入含有可燃氣體之界定區域內時，相較於具有開放及延伸的軸向路徑之幾何形狀(例如，環、空心柱)，具有可使可燃氣體通過之最短的軸向路徑之幾何形狀(例如，實心球)或具有更多彎曲及更短的軸向路徑之幾何形狀(網狀泡沫、緊緊纏繞的線網材料)可更有效地使壓力波偏轉與分裂。

通常可理解，藉由將填充因子(packing factor)最大化及/或將置於製程容器之界定區域內之衰減材料成分間的體積(裂縫)空隙最小化，可至少部分地達到軸向路徑之最小化，且亦知此軸向路徑之最小化係取決於該衰減材料及其成分之特定幾何性質(尺寸及形狀)。藉由參考基礎教科書與研究論文，熟悉此技藝之通常知識者可輕易地測定

與計算填充因子及體積空隙。例如，體密度(bulk density)與空隙分率(void fraction)資料可依據經驗測量(將材料充填入固定之體積，測定所用材料之質量，然後再除以單一顆粒之密度以確定其中自由空間所占之百分比)。然而，許多適用之成分為用作分離管柱填料(packing)或再生熱氧化劑熱轉移床材料之市售材料，其供應商已免費公佈此等材料之上揭資料。此外，亦存在許多討論更普遍之填充材料並可查詢(或計算)其相關聯填充分率資料的參考教科書，參照例如 W. L. McCabe 與 J. C. Smith 所著之《化學工程之單元操作(Unit Operations of Chemical Engineering)》(3rd Ed., 1976, McGraw-Hill, New York)第 710 頁之表 23-1(Table 23-1)。

具有所選擇之幾何性質與構成材料之特定類型衰減材料所達到之成功度於某種程度上係藉由下述方式評估：比較該空的界定區域內可燃氣體的爆燃壓力波所達到之最大壓力(Pmax)與將該衰減材料填充入相同界定區域內時於相同操作條件下可燃氣體所達到之最大壓力，評估該衰減材料使最大壓力降低之能力。下文之實施例 1 所提供的資料顯示：與空的界定區域相比，將 2 吋(50.8mm)之鮑爾環(Pall ring)放置於界定區域內時，位於該界定區域內之可燃氣體所達到之最大爆燃壓力竟意外地上升，而非下降。實施例 1 所揭示之實驗結果亦證明，將該提供極大之總表面積的捲曲線網層置於界定區域內時，其於可燃氣體點火後可一貫地降低最大爆燃壓力，但顯然地，該捲曲線網層

並無法藉由熱移除機制使燃燒熄滅。

第 4A 至 4C 圖以及第 5A 至 5J 圖分別為一系列由電腦模型軟體所產生之圖形影像，其係顯示自界定區域(DR)內之單一處(P)點火起，在不超過 200 微秒之總流逝時間的不同時間間隔內之爆燃壓力波前(Pressure Wave Front, PWF)的發展(progression)。該界定區域係指管狀反應容器(如上文有關第 1 至 3 圖所揭示者)之圓頂狀入口區域。與第 3A 及 3B 圖所提供者相同，第 4A 至 4C 圖以及第 5A 至 5J 圖之影像係顯示該界定區域之側視圖。壓力波之陰影隨壓力變化，故與壓力波之其他部份相比，壓力波之深灰色部份係表示更高之局部壓力。舉例而言，於第 4B 圖中可看出，與落後於前端(leading front)並鄰近點火處(P)之淺灰色(稍微較亮但非特別亮者)陰影部份相比，爆燃壓力波前之前緣(leading edge, PWF)係更深灰色之陰影。

特別地，第 4A 至 4C 圖之一系列影像係顯示自不含衰減材料之界定區域(DR)內的點火處(P)起之爆燃壓力波前(PWF)的發展。如第 4A 至 4C 圖中之 PWF 半圓形前緣所示，在空容器中，爆燃壓力波前係自點火處起穩定地朝所有方向傳播通過該空容器。第 5A 至 5J 圖顯示自界定區域(DR)內之點火處(P)起的爆燃壓力波前(PWF)之發展，但此時該界定區域內係含有包括陶瓷球(CS)之衰減材料。請參閱第 5A 至 5J 圖，可看出爆燃壓力波前仍是自點火處起朝所有方向向外行進，但當其與衰減材料接觸時，該平滑、連續之半圓形波前即被偏轉與分裂。儘管使用衰減材料時仍達

到最大爆燃壓力(Pmax)，但所達到之該 Pmax 係小於在空的測試容器內爆燃所達到之 Pmax。再者，亦可以看出，爆燃壓力波前之傳播僅持續非常短之時間——數百微秒之等級。此顯示，藉由某類包含固體成分之衰減材料所造成之爆燃壓力波的橫向偏轉會降低該壓力波最終達到之最大壓力。

如前所述，已經發現，相較於熱轉移，更能影響衰減材料之燃爆壓力波分裂能力以充分地避免引爆者為：相應於製程容器之界定區域形狀及尺寸的該衰減材料成分之幾何性質。“有效直徑”為具有複數種成分如陶瓷球、或鮑爾環等之衰減材料的可量化特徵，發明人發展出“有效直徑”來定量可用於阻礙爆燃過程中壓力波前傳播之衰減材料各成分的橫截面輪廓(cross-sectional profile)。不欲受理論所限制，本文所使用之“有效直徑”係類似於火焰阻止器設計技術領域中具有通常知識者所熟知之“水力直徑”概念。水力直徑之概念係提供自非圓形管道及導管內流動之流體移除熱時，將該管道及導管之幾何性質與表面積的影響予以定量之手段。同樣地，相較於用於阻礙壓力波傳播的一般球形成分(其具有一貫的圓形橫截面輪廓)，已發展出“有效直徑”之概念以提供具有非球形成分之衰減材料對於通過該衰減材料之壓力波前的傳播影響之類似量化方法。

“一般球形成分”係指當該成分之外部幾何輪廓內接於球內時，該成分占該球之封閉體積的約 50%以上(=內接

體積比(inscribed volume ratio)>0.50)。舉例而言，立方體之內接體積比為約0.68，而具有大致相等之L與D的「DENSTONE柱」(例如，L=0.375吋，D=0.25吋，體積=0.0184立方吋；Ds=1.14厘米(cm)，則球體積為0.0479立方吋，而內接體積比即為 0.0184/1.0479=0.3840)之內接體積比為約0.38。具有幾何學及三角學之通常知識者可輕易完成該內接體積比之數學計算。當然，若所包含之顆粒具有一個或多個對稱軸(例如，實心軸對稱體)，此等計算可以簡化。若顆粒為類似規則多面體之多面顆粒，則隨著表面數目的增加，該顆粒之表面形狀接近球形，其內接體積比近乎於1。

本文所使用之術語，衰減材料成分之“有效直徑”係指其內部內接單一平均成分之球的平均直徑。“等同有效直徑(equal effective diameter)”係指在測量誤差範圍內的有效直徑，該測量誤差係為約+/-5%，舉例而言，或甚至±10%或±20%。

申請人發現，個別之壓力衰減成分的幾何性質與有效直徑(例如，成分幾何學)兩者以及此等成分相對於彼此之排列或填充均會影響其於特定製程容器內所達到之壓力衰減程度。一般而言，成分之有效直徑越小，壓力衰減程度就越高。此外，申請人亦發現，與單層之衰減材料成分相比，多層之衰減材料成分所產生之爆燃壓力衰減程度更高，且當製程容器之界定區域的過半體積均被衰減材料所填充時，便可能達到最大衰減程度。

在使用多層顆粒來衰減製程容器內之爆燃壓力的實例中，較佳者係將此等顆粒之多層組織成具有最小化之“溝流(channeling)”的有序排列幾何主體(well-ordered bulk geometry)。溝流係指流體沿障礙物或設施構造內之路徑相對暢通地流動，該路徑係呈現至少半連續之通路形式，於該半連續之通路內，流體可輕易地且穩定地流動而不會被偏轉或阻攔。

於理想狀況下，僅使用具有完全相同之直徑的完全光滑、均勻球形顆粒，這是因為此等顆粒將自組裝或“自排列”成具有均勻面心立方取向之幾何主體。此自排序行為係所欲者，因為其提供了自排序幾何主體之優勢，於該幾何主體內只存在極少數或是不存在可供流體流通之連續開口，故而無需特別以手工方式調整該成分。其成分具有自排序傾向之衰減材料使得該衰減材料可僅藉由傾倒或傾瀉入製程容器之界定區域內而達到該容器之有效充填。

申請人幸運地發現，包含具有等同有效直徑之一般球形成分的衰減材料之行為與此理想球體之行為極為相似，且具有較高內接體積比之顆粒係最接近此理想球體之行為。

因此，如將於下文進一步詳細揭示者，目前具有通常知識之人士可完成下列步驟：選擇具有特定尺寸之微粒材料，證實其於實驗室測試球內之壓力衰減性能，然後再將此亟需(所測試)之材料放置於遠較大之商業化規模製程容器內，以獲得爆燃壓力衰減之有益效果。

在使用包含具有等同有效直徑之一般球形顆粒的衰減材料之實例中，可能需要使用具有比實驗室設備測試所使用者更大尺寸之成分的衰減材料。這是因為當成分具有大的有效直徑時，流經該成分之聚集體的特定氣體之壓力降可被最小化。需要諸如使用氣體壓縮系統來提高饋入該製程容器之氣體的增壓(pressurization)，從而實現較大的壓力降，係需要較高之成本。此外，提高氣體饋料之增壓對於易燃性限制與系統之自點火溫度具有反效果。不幸的是，使壓力降最小化之目標恰恰與使用小顆粒(如上所述)來使壓力衰減最大化之目標相反，且在不進行大量昂貴的實驗室測試之前提下欲調整此狀況在實務上將變得十分困難。

所幸者，申請人所做之大量研究意外地且驚奇地顯示，包含具有(與實驗室所實際測試之衰減材料成分的有效直徑)不同之有效直徑之成分的衰減材料之行為是可以預測的。更特定言之，藉由使用本發明所研發之方法，具有通常知識之人士可進行相對較少之實驗室測試並放大該結果，而選擇用於較大商業規模容器之衰減材料成分的有效直徑。本方法係包括決定具有特定幾何性質之顆粒的爆燃混合因子(DMF)。

DMF 係提供用於識別最大有效直徑之基礎，該最大有效直徑可用於特定之製程容器內以獲得爆燃壓力衰減。不藉由此方法，則必將需要於實驗室內建構全規模之測試系統來獲得此資訊。多數特定製程容器之直徑可為 20 呎或更

大(6.1 米或更大者)，此種測試途徑係無法實現。於本發明之實施例中，基於 10 公升實驗室測試容器內 1/4 吋 DENSTONE 球之成功測試，直徑為 3.6 吋(9.14 厘米)之實心、空心陶瓷球可有效地用於直徑為 22 呎(6.7 米)之商業容器。與空容器之最大爆燃壓力 Pmax 相同，對於特定之衰減材料成分而言，DMF 值 vs. Pmax 之關係亦取決於該製程容器界定區域內之可燃氣體的初始組成狀態、溫度及壓力。然而，一旦製程容器內之可燃氣體的初始組成狀態、溫度及壓力經固定後，DMF vs. Pmax 之關係亦隨之固定。

基於後文所提供之使用包含丙烯之 35 psig (磅/平方吋表壓)、225℃(437°F)可燃氣體混合物的實施例，DMF 大於約 14 之顆粒無法提供顯著之爆燃壓力衰減以將尖峰壓力維持低於所欲之最大容許容器壓力，故顯然不應選用此種顆粒。

使用包含具有等同有效直徑之一般球形成分的衰減材料的本發明方法也已發展出。我們相信，當內接體積比高時，本發明方法可極準確地預測壓力衰減行為，故較佳係使用具有內接體積比大於 0.3 之成分(DENSTONE 柱)的衰減材料，更佳係使用內接體積比大於 0.6 之成分(立方體)，或甚至使用內接體積比大於 0.9 之成分(DENSTONE 球)。

我們亦證實，於本發明方法中使用包含網狀陶瓷泡沫成分之衰減材料亦有效，其中平均孔洞大小之直徑係用以替代球形成分之有效直徑。舉例而言，標稱孔隙率為 20 孔/平方吋(ppi)之陶瓷泡沫的有效直徑為 1.27mm(25.4mm/20)。

對於包含兩種一般球形成分如 DENSTONE 球及 DENSTONE 柱之混合物的衰減材料而言，本發明方法亦可相當有效地預測其行為。若兩種成分之有效直徑相同，該混合物將具有與單一成分型衰減材料接近之性能，且對於具有較小有效直徑之材料而言，該預測之準確性最佳。

於一具體實施例中，使用兩種具有不同有效直徑之一般球形成分作為衰減材料時，該成分之直徑比($D_{大}/D_{小}$)較佳為至少 100，例如，至少 1000。直徑差會對成分層之排序造成負面影響，於兩個相鄰(不同尺寸的)顆粒間之界面區域形成隧道狀空洞，當然，該空洞之形成會降低該區域內之局部壓力衰減。隨著尺寸差之增加，大直徑成分對於壓力衰減之影響開始降低，這是因為小顆粒可更輕易地填充入大直徑顆粒間之界面區域。於所允許之極大尺寸差範圍內，較大成分之曲率半徑於界面區域內變得微不足道，而相對於相鄰的較小成分，較大成分之幾何性質係相當於容器壁。當很難以小顆粒填充整個體積(例如，成分密度過大而超出製程容器所允許之最大重量限制)且該較大成分之密度小於該較小成分之密度(例如，較大成分呈中空者)時，使用具有極大直徑差之顆粒的方法尤其有價值。

進一步注意到，根據本發明之方法，可將其他較大之內部結構如陶瓷纖維籃或美國專利案第 6,649,137 號所揭示之錐狀齒(conical insert)(參見該案之第 20 圖)與適當之衰減材料一起放置於製程容器之界定區域內。使用其他較大之內部結構來減少製程容器之界定區域的體積，藉此

減少填充該界定區域所需之衰減材料的量，並隨之減少加入該界定區域內之材料的總重量，同時仍得以達成有效程度之爆燃壓力衰減。

於本發明之一態樣中，係提供用於衰減可燃氣體於製程容器之界定區域內燃燒所產生之爆燃壓力的方法。例如，但非藉以限制，如第 1 圖所示，該製程容器可為用於烴類之催化性氧化反應的殼管反應器，該界定區域可為藉由反應器頭部 24 與第一管板 14 所界限而得之該反應器的入口區域。該製程容器具有最大容許圍阻壓力(maximum allowable containment pressure, P(c))(其通常由製造者所提供，而作為設計與操作說明之一部份)，且該界定區域具有橫截面半徑 R(v)。該製程容器係於已知操作條件下操作，該操作條件包括初始饋料氣體之組成、溫度及壓力。該初始饋料氣體之組成可進一步包括於該條件下易燃之烴與氧的混合物。於可燃氣體被點燃後，爆燃壓力波於該界定區域內傳播並達到尖峰壓力 P(max)。一般而言，由前述點火所造成之燃爆壓力係藉由下述方法衰減：選擇適當之衰減材料並將該材料放置於製程容器之界定區域內。適當之衰減材料於該製程之操作條件下仍保持其物理形狀，且適當之衰減材料具有複數種成分。該衰減材料之成分具有有效直徑且亦可具有幾何性質。

根據本發明之方法的第一步驟為決定適用於該製程容器界定區域內之衰減材料成分的有效直徑，其中，特定之可燃氣體係存在於該製程容器界定區域內。此係藉由建立

包含尖峰爆燃壓力與爆燃混合因子之關聯對的經驗資料而予以達成，該經驗資料係說明複數種衰減材料與可燃氣體點火後所達到之尖峰壓力間的線性關係，至少一種該衰減材料所具有之成分係具有與其他衰減材料之成分不同的有效直徑，且該可燃氣體係具有與初始饋料氣體組成物相同之組成。

更特定言之，該包含尖峰爆燃壓力(Pmax)與爆燃混合因子(DMF)之關聯對的經驗資料係使用測試球及已知具有一定組成之可燃氣體混合物經多次實驗測試而得到者，每次測試之條件，包括初始可燃氣體之組成、溫度及壓力係固定者。測試球之半徑為 R(ts)，且用於收集與記錄實驗測試過程中之溫度與壓力資料的感測器與偵檢器係裝配於該測試球上。於每次實驗測試期間，可燃氣體係以已知之操作條件(例如：初始壓力與溫度)填充於該測試球內，並隨後點燃該可燃氣體。該可燃氣體可包含，例如，但不限於一種或多種烴類及氧。於每次實驗測試中，測量並記錄爆燃期間所達到之最大(或“尖峰”)爆燃壓力。最初，當可燃氣體被饋入測試球內並點燃時，該測試球內並無任何衰減材料。在無任何衰減材料存在下，記錄將可燃氣體點火所達到之尖峰爆燃壓力 Pmax(0)，然後，排空該測試球以進行下一次實驗測試。

於測試球內填充相同組成之可燃氣體時，進行至少兩次連續之實驗測試，但兩次測試中測試球內分別含有不同衰減材料。分別記錄使用各測試衰減材料時所達到之尖峰

爆燃壓力。更特定言之，於測試球內填充所選擇之具有第一有效直徑 Ds(1)的第一衰減材料，再提供可燃氣體並點燃，隨後記錄與所選擇的第一衰減材料相關聯之第一尖峰爆燃壓力 Pmax(1)。至少多進行一次實驗測試，其中於該測試球內填充所選擇之具有第二有效直徑 Ds(2)的第二衰減材料，再提供可燃氣體並點燃，隨後記錄與所選擇的第二衰減材料相關聯之第二尖峰爆燃壓力 Pmax(2)。視需要，亦可使用具有不同有效直徑之其他類型的衰減材料來進行其他實驗測試。如熟悉相關技藝之人士所容易理解者，其他實驗測試將提供其他的經驗資料，預期該等經驗資料將提供用於決定真實工業規模製程容器所使用之衰減材料的更健全且可靠之模型，但為了產生如本文所使用之線性模型，最少係需要兩個資料點。當然，於不同體積(例如，具有不同半徑)之測試球內重複測試具有特定幾何性質之衰減材料，可能獲得相同之資料，例如，一個測試球之體積為 5 公升，另一測試球之體積為 10 公升，又一測試球之體積為 20 公升。

當然，如熟悉相關技藝之人士所輕易認知者，若由使用衰減材料之第一實驗測試所得到之 Pmax 證明所測試之特定衰減材料可充分降低 Pmax，則該 Pmax 比將容納該衰減材料之製程容器的設計壓力低，因此並無特別必要進行具有不同尺寸之衰減材料之其他測試。一定程度上，此等結果將支持下述結論：根據本發明，作為第一實驗測試之測試材料的具有相同幾何性質與有效直徑之衰減材料，係

適於放置入製程容器之界定區域內來衰減該區域內之爆燃壓力。因此，作為測試材料的具有相同幾何性質與有效直徑之衰減材料可被放置入該界定區域內，而放置量為填充體積之至少 20%。將衰減材料放入界定區域內時，將形成橫跨該界定區域之壓力降，然而，若該壓力降之量為可接受者，則可避免進一步之實驗測試。

已經發現，爆燃壓力衰減之程度係取決於所使用之衰減材料的量(亦即：界定區域內之填充體積的百分比)；因此，對於任何特定衰減材料而言，當所使用之特定衰減材料占填充體積之 100%時，將可獲得 Pmax 之最大降幅。如實施例 3 所指出者，當衰減材料之使用量小於填充體積之約 20%時，可測得之 Pmax 降低即使存在，其值亦極低，故此用量不建議使用。因此，很顯然的，得知本揭示內容之有益效果的熟悉該技藝之人士可藉由進行多個實驗測試來產生如上揭之一者的線性模型，若所有實驗係使用占測試球填充體積之相同百分比的衰減材料，則可獲得更健全且可靠之模型。此外，若所欲者為使用本發明之方法，其中衰減材料之使用量低於製程容器之填充體積的 100%，則建議使用其內含有相同量之衰減材料的測試球來進行實驗測試。例如，若所欲者為於特定之製程容器中使用占填充體積之 50%的特定衰減材料，則進行實驗測試時，為了獲得用於放大之最具代表性的實驗資料，應同樣於測試球中使用占填充體積之 50%的衰減材料。

關於衰減材料，衰減材料之成分的幾何性質可為，例

如，但非限於一種或多種下述形狀：球狀、橢圓狀、柱狀、鞍狀、塊狀、狹長狀與多面體狀，且應具有至少一個選自下列所構成群組之特徵：實心、空心、多孔以及具有至少一個貫穿路徑。再者，該衰減材料可藉由選自陶瓷、礦物、金屬與聚合物所構成群組之至少一類材料所形成。此外，更有益者可為選擇第一及第二衰減材料，使得所選擇之該第一衰減材料的成分之幾何性質，尤指有效直徑(Ds(1))係不同於該第二衰減材料之成分的幾何性質，即有效直徑(Ds(2))。

接下來，使用下式：

$$DMF(n)=(Ds(n)/Rts)\times 40$$

對於各個尖峰爆燃壓力(Pmax(0)、Pmax(1)、Pmax(2)…Pmax(n)，其中「n」係使用測試球所進行之實驗測試的總數)，計算與其相對應之爆燃混合因子(DMF(0)、DMF(1)、DMF(2)…DMF(n)，其中「n」係使用測試球所進行之實驗測試的總數)，式中 n=0、1、2…n，且 Ds(n)及 R(ts)係分別以厘米為單位而測得。

現在，已建立雙變量(x, y)資料集，可利用熟悉該技藝之人士所熟知之代數技術來測定尖峰爆燃壓力 Pmax(n)與具有類似幾何性質但不同有效直徑之材料的爆燃混合因子 DMF(n)間之近似線性關係(亦即，線性化)，該代數技術係指以資料對(data pair)為基礎來求解下述方程式：

$$Pmax(n)=M\times DMF(n)+B$$

以測定可變參數 M 與 B 之恆定數值，其中 n=0、1、2…n。

一旦計算出常數 B 與 M 之數值，並自製造者之設計資訊得知該製程容器之最大容許圍阻壓力(P(c))，則可使用已知之 B、M 與 P(c)的數值，藉由下式：

$$DMF(a)=[P(c)-B]/M$$

計算出該製程容器可容納之最大爆燃混合因子(DMF(a))。

最後，可使用下列數學關係：

$$Ds(a)=[DMF(a)\times R(v)]/40$$

計算衰減材料之成分的最大有效直徑(Ds(a))，該衰減材料係預期為可成功地衰減爆燃壓力至一定程度以降低於製程容器之界定區域內所達到之最大壓力(Pmax)並避免引爆；以及，已知衰減材料之成分的最大有效直徑(Ds(a))，選出適用於手邊之特定製程容器的衰減材料，其中，該衰減材料之成分的有效直徑小於或等於計算得到之最大有效直徑(Ds(a))。將所選擇的衰減材料以使其成分間之空隙與開放路徑最小化之方式放置入該製程容器之界定區域內。該衰減材料應占該界定區域體積之至少 20%，例如，至少 40%，或甚至至少 60%或至少 80%。如上所述，某些衰減材料包含自排序(self ordering)成分，當將其置入容器或界定區域內時，該成分可自然地沉降並自行排列，而使得成分間之空隙與開放路徑相當均勻並被最小化。然而，若將衰減材料隨意置入製程容器之界定區域內時，衰減材料無法自排序，則該置入步驟需要以手工方式將該衰減成分之各成分排列放置於界定區域內，從而使成分間之空隙與開放路徑最小化，並使該空隙與開放路徑儘可能均勻。

如熟悉相關技藝之人士所輕易理解者，該依據經驗測定尖峰爆燃壓力(Pmax(0))之步驟可藉由下述方式進行：於預定操作條件之壓力與溫度下點燃測試球內之可燃氣體，或測試球為空的，然後再於點火後測量測試球內達到之最高壓力(Pmax(0))。同樣地，依據經驗測定第一尖峰爆燃壓力(Pmax(1))之步驟可藉由下述方式進行：將所選擇的第一衰減材料充填入測試球內，於預定操作條件之壓力與溫度下點燃測試球內之可燃氣體，然後再於點火後測量填充有所選擇之第一衰減材料的測試球內達到之最高壓力(Pmax(1))。當然，依據經驗測定第二尖峰爆燃壓力(Pmax(2))之步驟可藉由下述方式進行：將所選擇之第二衰減材料充填入測試球內，於預定操作條件之壓力與溫度下點燃測試球內之可燃氣體，然後再於點火後測量填充有所選擇之第二衰減材料的測試球內達到之最高壓力(Pmax(2))。使用其他類型與尺寸之衰減材料(亦即，第三衰減材料、第四衰減材料等)所達到之最大壓力(Pmax(n))可藉由上述之相同方法測定。

本發明之另一具體實施例係提供管狀反應器，其係適用於衰減反應器內部之可燃氣體燃燒所造成之爆燃壓力。該管狀反應器係具有與上揭第 1 圖相關之一般習知構形，其係包含於第一有孔板及第二有孔板之間延伸、並被封閉於殼體中之複數根管。該等管與有孔板係封閉於殼體中，形成使流體環繞該複數根管循環之殼側區域(shell-side region)及反應側區域(reaction-side region)。該反應側

區域係包含界定入口區域，其係藉由該第一有孔板於一側予以界限並具有與該第一有孔板實質上相等之半徑；以及界定出口區域，其係藉由該第二有孔板於一側予以界限並具有與該第二有孔板實質上相等之半徑。該複數根管係各別與該界定入口區域及該界定出口區域兩者流體連通，藉此使得反應流體流通。本發明之管狀反應器進一步包含具有複數種成分之衰減材料，所有成分皆具有幾何性質且被放置成使得成分間之空隙與開放路徑最小化。該衰減材料係占該界定入口區域與該界定出口區域至少之一者之至少20%，例如，至少 40%，或至少 60%，或至少 80%。此外，該衰減材料之成分具有滿足下列數學關係之有效直徑(Ds(a))：

$$Ds(a)=[DMF(a)\times R(v)]/40$$

其中 Ds(a)係以厘米計，(DMF(a))為與該衰減材料相關聯之爆燃混合因子且係藉由上揭方法依據經驗而測定，以及R(v)係以厘米計並為被該衰減材料占據之界定入口區域或界定出口區域之半徑。

對於使用於 C_1-C_8 烴類(例如，C_3-C_8 烴類)之氣相催化氧化反應以產生相應之氧化產物(包括，但不限於不飽和醛與不飽和羧酸)的管狀反應器而言，可燃氣體係存在於界定區域內。除了其他可能之成分(例如，一種或多種氧化產物與惰性材料)以外，可燃氣體通常為一種或多種 C_1-C_8 烴類與氧氣之混合物。氣相催化氧化反應之實例包括但不限於：異丁烯至甲基丙烯醛或甲基丙烯酸之氧化反應；異丁烷至

甲基丙烯醛或甲基丙烯酸之氧化反應；丁烷至順丁烯二酐之氧化反應；丙烷至丙烯醛或丙烯酸之氧化反應；丙烯至丙烯醛或丙烯酸之氧化反應；及甲烷至氰化氫之氨氧化反應。

如上所述，該衰減材料之幾何性質係包括選自下列所構成群組之至少一種形狀：球狀、橢圓狀、柱狀、鞍狀、塊狀、狹長狀與多面體狀，並具有至少一個選自下列所構成群組之特徵：實心、空心、多孔以及具有至少一個貫穿路徑。再者，該衰減材料係包含選自陶瓷、礦物、金屬與聚合物所構成群組之至少一類材料。合適之衰減材料的實例係包括但不限於：陶瓷鞍、蛭石顆粒、包含經輾軋之FIBERFRAX陶瓷覆蓋層(FIBERFRAX材料係來自Unifrax of Niagra Falls, New York, USA之販賣商用)的柱、玻璃彈珠、失效的混合金屬氧化物型氧化反應催化劑、碳酸鈣顆粒、鋁拉西環(Raschig ring)、包含氣泡氧化鋁(bubble alumina)之預鑄柱、酚系樹脂撞球、不銹鋼空心球、網狀銅泡沫瓦、五環床頂介質(Pentaring bed-topping media)(來自Saint-Gobain Norpro of Stow, Ohio, USA之販賣商用)及碳化矽滾珠軸承(ball bearing)。

於本發明之管狀反應器的另一具體實施例中，兩種或多種衰減材料係存在於該界定入口區域與該界定出口區域之至少之一者中，且至少一種該衰減材料之成分的幾何性質係與其他衰減材料之成分的幾何性質不同。

特別地，兩種或多種衰減材料可存在於該界定入口區

域與該界定出口區域之至少之一者中。至少一種該衰減材料所具有之成分應具有滿足下列數學關係之有效直徑(Ds(a))：

$$Ds(a)=[DMF(a)\times R(v)]/40$$

式中 Ds(a)係以厘米計，(DMF(a))為與該衰減材料相關聯之爆燃混合因子且係藉由上揭方法依據經驗而決定，以及R(v)係以厘米計且為被該衰減材料占據之界定入口區域或界定出口區域之半徑。

本發明亦提供於可燃操作條件下安全地進行氣相反應之方法，該可燃操作條件係包括氣體饋料組成物、反應溫度及反應壓力。

當然，易燃操作條件是否任何特定之反應系統存在係取決於變量之數目，該變量係包括但不限於氣體材料之類型及其於該氣體饋料組成物中之比例，以及實施反應之溫度與壓力(亦即，反應溫度與反應壓力)。如熟悉相關技藝之人士所熟知者，可燃操作條件係指於該條件下，含有可燃氣體(例如，烷類及烯類)與氧之氣相流具有點火、燃燒及/或爆炸之潛在可能性，於該相同氣相流中，可燃氣體與氧之相對濃度或比率係落在介於爆炸上限(Upper Explosive Limit, UEL)與爆炸下限(Lower Explosive limit, LEL)間的爆炸範圍內，此等爆炸限值係取決於該饋料流之特定組成成分及其於製程中存在之溫度與壓力。為避免此等意外，於此類氧化製程之氣相饋料流中，可燃氣體(烷類、烯類)與氧的相對量典型係維持在該爆炸範圍以

外的值，舉例而言，其比率低於 LEL 或者高於 UEL。然而，此方法(取決於使特定反應以經濟可實行率進行所需之溫度與壓力)係限制了可用於反應過程中之反應物的處理量(throughput)，並因此限制了可獲得之產物量。對於包含烴類及氧之特定氣體饋料組成物，具有該技藝之通常知識的人士熟知用於測定該組成物於特定反應溫度與壓力下是否存在易燃操作條件的多種方法。例如，但非限於，測定特定反應系統之可燃性之一種方法係進行歐洲標準 DIN EN1839(European Stantard DIN EN 1839：January 2004)所述之實驗室測量法。

本發明之於可燃操作條件下安全地進行氣相反應之方法包括，提供具有界定區域之反應容器，氣相饋料組成物係流經該界定區域，且該界定區域之至少 20%體積係被至少一種衰減材料所占據，該衰減材料於易燃操作條件下仍維持其物理形狀。此用於進行氣相反應之方法復包括，在使該氣相饋料組成物可燃之溫度與壓力下，於該反應容器內提供一種或多種氣相材料，藉此以形成流經該反應容器之界定區域的氣相饋料組成物，然後再使該氣相饋料組成物於該反應容器內進行一種或多種反應。

該一種或多種氣相材料係包含烴、含氧氣體、以及視需要之一種或多種惰性材料。“烴”係包括，例如，但不限於，烷類如甲烷、丙烷與丁烷，及烯類如丙烯與異丁烯，以及更複雜之烴化合物。本文所用之術語“含氧氣體”係指含有自 0.01%至 100%之氧或含氧化合物之任何氣體，其

包括，例如，但不限於：空氣、富含氧之空氣、一氧化二氮、二氧化氮、純氧、純氧或含氧化合物與至少一種惰性氣體(如氮)之混合物、及其混合物。儘管該含氧氣體可為純氧，但當純度並無特殊要求時，使用含氧氣體如空氣通常更為經濟。再者，“惰性”材料包括實質上呈惰性之任何材料，即不參與相關反應、不被相關反應所影響、及/或對相關反應係不具活性(inactive)者，例如，可包括但不限於氮、蒸汽、鈍氣與二氧化碳。

該衰減材料可根據上揭本發明之方法予以選擇，其包括實施實驗測試以決定該衰減材料之成分的最大適當有效直徑。該衰減材料可為選自陶瓷、礦物、金屬與聚合物所構成群組之任何類型的材料。該衰減材料之各成分的幾何性質係包括選自下列所構成群組之至少一種形狀：球狀、橢圓狀、柱狀、線狀、鞍狀、塊狀、狹長狀與多面體狀，並具有至少一個選自下列所構成群組之特徵：實心、空心、多孔以及具有至少一個貫穿路徑。

於易燃操作條件下安全地實施氣相反應之方法之一具體實施例中，該烴係包含丙烯，該氣相反應係包括丙烯之氧化反應。於此具體實施例中，舉例而言，該衰減材料可包含捲曲線網柱與卷曲線網多面體。於另一具體實施例中，該氣相材料進一步包括氨，該烴包括甲烷，以及該氣相反應包括甲烷之氨氧化。用於甲烷之氨氧化反應之反應器所使用的衰減材料可適當地包含陶瓷泡沫多面體。

實施例

實施例 1

使用配備有點火源與多個溫度與壓力測量感測器及裝置之體積為 141 立方呎(ft^3)(4 立方米(m^3))的壓力容器，於不同衰減材料存在及不存在之兩種條件下，測試將可燃氣體於該壓力容器內點火所達到之最大爆燃壓力。

首先，將可燃氣體充填入空的壓力容器中，基於該可燃氣體之總體積，該可燃氣體組成物係包括 4 體積%之丙烯、11 體積%之氮以及 85 體積%之空氣；點燃該可燃氣體；再測量所達到之實際最大爆燃壓力。

進行評估後，將直徑為 2 吋(5.1cm)之不銹鋼鮑爾環充填入該壓力容器中，並使不銹鋼鮑爾環之表面積達到 35 ft^2/ft^3(1.15cm^2/cm^3)，接著再充填前述可燃氣體，點燃該氣體並測量壓力。隨後，分別使用下列各者來進行相同步驟：直徑為 1 吋(2.54cm)之不銹鋼鮑爾環，其表面積達到 65ft^2/ft^3(2.13cm^2/cm^3)；直徑為 5/8 吋(1.6cm)之不銹鋼鮑爾環，其表面積達到 110ft^2/ft^3(3.61cm^2/cm^3)；以及將捲曲不銹鋼編織網板(購自 Koch-Otto York Separations Technology of Wichita, KS，係經由將直徑為 0.0105 吋(0.2667mm)的不銹鋼線捲曲並輾軋製成密度為 288 千克/立方米(18 磅/立方呎)之板而構成) 逐層放置入該界定區域直至填滿該區域，其表面積達到 97ft^2/ft^3 (3.18cm^2/cm^3)。下表 1 係提供使用上述各衰減材料所達到之最大爆燃壓力、以及其與總表面積及其他測試中所達到之最大壓力的比較結果。

表 1

填充材料類型	容器內填充體積(ft^3)	總表面積(ft^2)	初始溫度(℃)	初始壓力(psig)	實際 P(max)(psig)
無			44	23	290
2 吋鮑爾環	120	4200	25	23	400
1 吋鮑爾環	110	7150	53	25	45
5/8 吋鮑爾環	110	12100	157	25	58
5/8 吋鮑爾環	110	12100	148	25	65
捲曲線網	140	13580	158	25	44
捲曲線網	140	13580	156	25	44

自表 1 之資料可明顯看出，所測試之材料無一成功地阻止燃燒，這是因為若燃燒被成功地阻止，則點火後測試容器內應無可察覺之壓力升高(亦即：初始壓力=Pmax)。此外，所有經測試之衰減材料皆具有相同之構成材料(不銹鋼)，故其具有相同之導熱性，基於火焰阻止器設計之技術領域所教示者，可預期：若熱移除確實為此測試系統之控制機制，則總表面積與 Pmax 間應具有非常強之相關性。然而，自表 1 之資料可證明總表面積與 Pmax 之間並無一致之相關性。與具有中等總表面積($12100ft^2$)之 5/8 吋鮑爾環相比，總表面積為 $7150ft^2$ 之 1 吋鮑爾環與總表面積為 $13580ft^2$ 之捲曲線網二者均達到較低之 Pmax 值。再者，總表面積為 $4200ft^2$ 之 2 吋鮑爾環所達到之 Pmax 值係遠遠超過空容器(無表面積)之 Pmax 值。無論先前技藝如何教示，

此等令人驚訝之測試結果顯示可燃氣體系統中存在某些其他迄今尚未查明之機制。

實施例 2

第 6 圖及第 7A 至 7D 圖係提供來協助理解下述本發明方法與管狀反應器之實施例。

為了增加製造丙烯酸之生產速率，係安裝可於 2.55 巴(37psia)之壓力以及 207℃(405℉)之溫度下對易燃之高烴饋料氣體進行安全操作之商業規模、高生產力的丙烯氧化殼管(管狀)反應器(未顯示)，該易燃高烴饋料氣體包括含量超過 7%之丙烯。此高生產力之操作係迄今尚無法達成者，這是由於廣泛認知之先前技術(參見例如美國專利案第 US7,074,855 號、第 US7,102,030 號與第 US7,326,810 號，以及美國專利申請案公開第 US2006/0111575 號與第 US2006/0166365 號)教示應避免於易燃條件或甚至接近易燃條件下操作饋料組成物。無論如何，在完成本發明之方法及設備後，此有用之操作模型可用於實現高生產力氧化製程(例如，丙烯醛與丙烯酸之製造)之安全操作。

本實施例之殼管反應器係包含超過 25,000 根焊接於直徑為 6750 毫米(22 呎)之水平入口管板的管(未顯示，但一般請參考第 1 圖及其說明)。該殼管反應器係建構成單一反應器殼體，此係意指具有不同催化劑組成物之多個反應區域係存在於單一容器內，每根管具有適用於最佳反應條件之多個反應區域與次區域。

包含壓力衰減成分之衰減材料係填充於此上向流殼管

反應器之頂部空間(亦即，界定入口區域)內(意指該界定區域係位於反應器之「底部」，亦即，第 1 圖中之界定區域 22)，該衰減成分可根據本發明之方法衰減爆燃壓力。為了達成此結果，該衰減材料係包含多種線網成分，該成分係以手工方式設置於該反應器頭部內，以使得軸向流動路徑最小化(例如，防止溝流(channeling))。第 6 圖及第 7A 至 7D 圖係顯示用於本具體實施例之線網成分之一般配置結果，此係於後文中更詳細描述。

根據本實施例之進步性具體實施例，該反應器係於下列饋料條件下安全地操作：

入口溫度	207℃
入口壓力	22psig
丙烯(%)	7.80
丙烷(%)	0.50
N_2(%)	65.43
O_2(%)	14.62
H_2O(%)	10.40
CO_2+CO(%)	0.50
其他(%)－包括：醋酸、甲酸、馬來酸、丙烯酸；乙醛；丙酮；丙烯醛；甲醛；以及氫	0.75

請參閱第 6 圖，該圖係顯示該反應器入口頭部組合件 30 之正視圖，該入口頭部組合件 30 係與反應器 32(僅部分顯示)相連接，從而與入口管板 36 形成封閉之頂部空間(界

定入口區域34)。入口管道凸緣(flnge)38係設置於該入口頭部組合件30之中心線40上，以允許饋料氣體(未顯示)進入該頂部空間(界定入口區域34)。該反應器之入口頭部組合件30係包含焊接於1855毫米(6.1呎)長之直壁通道部分(straight-wall channel section)44的碟形封頭(torispherical head)42。因此，該反應器之頂部空間大小為：直徑為約6750毫米(22呎)，且於該入口頭部組合件30之中心線處測得之整體高度為約3125毫米(10.25呎)。該封閉的頂部空間34之體積為96.1立方米(3393立方呎)。

用來製造本具體實施例之成分的特殊線網為編織線網，係包括直徑為0.0105吋之304L不銹鋼線(通常係指“網塊(bulk mesh)”)，其係經捲曲並輾軋而使密度達到288千克/立方米(18磅/立方呎)且係自ACS Industries of Hartford, CT獲得。適當之線網亦可購自Koch-Otto York Separations Technology of Wichita, KS或Metex Corporation of Edison, NJ。此線網典型係建構為編織管，接著再壓扁而以雙層“覆蓋層(blanket)”形式使用；或接著再剝離而以單層板形式使用。

於本具體實施例中，包含柱與矩形墊之線網成分之組合係放置於該封閉的頂部空間34內。為了形成柱狀線網成分(“捲筒”)，首先捲曲兩層線網之矩形部分，然後再將其盤繞成具有特定之最終高度與直徑之柱，該柱之體密度為約288千克/立方米(18磅/立方呎)，體密度之公差

(tolerance)為+/-0.5磅/立方呎。為了形成矩形墊線網成分(“覆蓋層”)，首先捲曲兩層線網之矩形部分，然後再將其鋪成具有特定之最終長度、寬度與高度之矩形墊，該矩形墊之體密度為約288千克/立方米(18磅/立方呎)。

雖然捲曲為選擇性步驟，但使用捲曲步驟會增加線網之空隙分率，並藉此減小體密度，因而降低成分之整體安裝重量。於另一具體實施例中，可使用未捲曲之兩層線網來形成體密度為約416千克/立方米(26磅/立方呎)之線網捲筒與線網覆蓋層。

對於上揭本具體實施例之具有特定體積的頂部空間而言，係使用下表2所列之線網成分：

表 2

本具體實施例所需之特定成分的大小(OD=外部直徑)	實施本具體實施例所需之成分總數
盤繞之柱狀線網	
18 吋 OD×14.5 吋高	710 捲
18 吋 OD×13 吋高	300 捲
12 吋 OD×14.6 吋高	452 捲
12 吋 OD×13 吋高	192 捲
12 吋 OD×10 吋高	18 捲
12 吋 OD×8 吋高	87 捲
12 吋 OD×6 吋高	69 捲
12 吋 OD×4 吋高	88 捲
2.6 吋 OD×14.6 吋高	1722 捲
2.6 吋 OD×13 吋高	794 捲
層狀鋪設之矩形墊線網	
14.6 吋×12 吋×3 吋	355 覆蓋層
12 吋×12 吋×6 吋	495 覆蓋層
73 吋×24 吋×3 吋	40 覆蓋層

上列之線網成分係根據第 7A 至 7D 圖所示之各個標示高度水平的佈局，以手工方式設置於該界定入口區域 34 內。此之結果為，封閉的頂部空間(界定入口區域 34)實質上完全被包含線網捲筒與線網覆蓋層之衰減材料所填充，其中，最上層之線網表面係設置成使其與入口管板 36 間之

距離為約 0 至 15 厘米。

如第 7A 圖所示，界定入口區域 34 內最接近該管板的五個高度水平，即 R-R、S-S、T-T、U-U 與 V-V 水平(見第 6 圖)係分別以類似方式填充，此係由於此等水平係具有相同之幾何性質，尤其具有相同之直徑。請回頭參閱第 7A 圖，將直徑為 18 吋、高度為 14.6 吋之線網捲筒 50 作為主體充填入該頂部空間之此等水平，而將直徑為 12 吋、高度為 14.6 吋之線網捲筒設置成環繞於複數個較大線網捲筒 50 之周圍。此外，將直徑為 2.6 吋、高度為 14.6 吋之線網捲筒 54 放置於最大線網捲筒 50 間之空隙內，以至少部分地填充大線網捲筒 50 間之空隙。於每一水平(R-R、S-S、T-T、U-U 與 V-V)，將高度為 14.6 吋之線網捲筒以尾對尾之交錯方式逐層向上堆疊，藉此以阻斷空隙通道之形成，反之若非以上述方式堆疊，則會形成空隙通道。

將將厚 3 吋、高 73 吋、寬 24 吋之線網覆蓋層壓製成環繞該界定入口區域周圍並涵蓋 R-R、S-S、T-T、U-U 與 V-V 水平之整個高度的層體。將厚 3 吋、高 14.6 吋、寬 12 吋之較小線網覆蓋層 58 插入介於較大線網覆蓋層 56 與環繞該較大線網覆蓋層 56 周圍的中等尺寸線網捲筒 52 之間的空隙。

第 7B 圖係顯示位於 X-X 水平之線網捲筒與線網覆蓋層之配置，且該 X-X 水平之直徑小於前述第 7A 圖所示之五個水平。具體而言，係將線網捲筒及線網覆蓋層之組合與直徑為 18 吋、高度為 13 吋之最大捲筒 60 放入 X-X 水平之中

心，藉此以占據該水平橫截面區域之主體部分。將直徑為12吋、高度同樣為13吋之較小線網捲筒62放置成環繞最大線網捲筒60之周圍。再將直徑同樣為12吋、但高度甚至為8吋(以與該頂部空間34（界定入口區域)之錐形壁相容)之其他線網捲筒64放置成環繞該較小線網捲筒62之周圍。最後，於X-X水平的最外側體積，在環繞該8吋高之線網捲筒64的周圍填充線網覆蓋層66。如第7B圖所示，若於該頂部空間34內遭遇障礙如桿、擋板、噴嘴等(如第7B圖之桿68a與68b)，可利用此領域中具有通常知識之人士所輕易理解的方法來修剪(例如，部分切除)該線網成分(例如，最大線網捲筒60)，以使線網成分與此等障礙相容。

第7C圖係顯示位於Y-Y水平之線網捲筒與線網覆蓋層之配置，該Y-Y水平之直徑小於前述第7B圖所示之X-X水平之直徑。再者，將直徑為18吋、高度為13吋之最大線網捲筒70放置於Y-Y水平橫截面區域之中心。將直徑為12吋、高度僅為6吋之線網捲筒72放置成環繞於最大線網捲筒70之周圍，並將直徑亦為12吋、但高度僅為4吋之更短線網捲筒74放置成環繞於6吋高之線網捲筒72的周圍。使用線網覆蓋層76填充介於4吋高線網捲筒74與容器壁W間之剩餘空間。於第7C圖可以看出，桿68a與68b自X-X水平向下延伸至Y-Y水平，故如前述水平，至少部分12吋高之線網捲筒72需被修剪。

第7D圖係顯示位於Z-Z水平之線網捲筒與線網覆蓋層之配置，該Z-Z水平之直徑仍小於前述第7C圖所示之Y-Y

水平之直徑。如圖所示，使用具有不同高度、但其直徑皆為 12 吋之線網捲筒填充 Z-Z 水平。更具體而言，於 Z-Z 水平所使用之最高線網捲筒 80 之高度為 11 吋，而放置成環繞於最高線網捲筒 80 之周圍的次高線網捲筒 82 之高度為 8 吋。6 吋高之線網捲筒(直徑仍為 12 吋) 84 係放置成環繞於 11 吋高之線網捲筒 82 的周圍，而高僅 4 吋之更短線網捲筒 86 係放置成環繞於 6 吋高之線網捲筒 84 的周圍。與其他各水平相同，將線網覆蓋層 88 係放置成環繞於最外側線網捲筒 86 之周圍，藉此以填充容器壁 W 之剩餘空間。

由於容器壁於該頂部空間 34(界定入口區域)之最底部逐漸形成錐形，因此係將該經較短線網捲筒所環繞之最高(亦即，最長)線網捲筒放置於各水平之最中心部分，以使得該線網衰減材料能夠儘可能多地填充該頂部空間。

於其他具體實施例中，衰減材料之一種或多種成分的線直徑係可變化者，例如，可使用線直徑為 0.008 吋或 0.011 吋之線，且由一種或多種成分編織成之線網的尺寸係可變化者，例如，可使用 30 針網或 90 針網，此並不背離本發明方法之精神範疇。將此等變化與視需要之捲曲步驟結合，可優化變量如成本、處理容易度、體密度及持久性，此係屬於得知本公開內容之有益效果的熟悉技藝人士之能力範圍內。

此外，可使用其他構築材料來形成用於製作線網之線。舉例而言，於一具體實施例中，線網可包含銅，以防止可存在於循環氣體中的成分形成聚合物結垢。於另一具

體實施例中，線網可包含磁性不銹鋼。於又一具體實施例中，網係藉由編織陶瓷纖維所形成，該陶瓷纖維包含一種或多種選自二氧化矽、氧化鋁與氧化鋯之材料。

應注意，儘管前述所提供之實施例係有關於與單一反應器殼體配置，但具有相關技藝之通常知識的人士可藉此獲知，對於使用包含多個串聯佈置之殼管反應器的製程容器而言，無論具有或不具有中間冷卻交換器，無論含有用於促進一種或多種化學反應之催化劑組成物的各反應器具有或不具有次區域，該衰減材料皆可放置於下述位置之一處或多處：上向流殼管反應器之界定出口區域、選擇性之換熱器內、以及後續下向流殼管反應器之入口處。因為上向流反應器之出口氣體組成物可包含一種或多種可於後續之下向流製程容器內形成可燃氣體混合物之化合物，故此等具體實施例係有利者。關於在兩個串聯之反應器間的一個或多個點添加補充氧化劑(例如，空氣或其他含氧之混合物)的實例中，此等配置係尤佳者。

此外，儘管前述實施例係有關用於催化性氧化反應之製程容器，但本發明之方法與設備可同樣有利地應用於建構進行其他類型之化學反應的製程容器，例如，於安德森(Adrussow)氰化氫反應器中進行甲烷之氨氧化反應。舉例而言，此氰化物製備反應容器可具有錐狀頂部空間(界定入口區域)，該頂部空間之至少 50%係由網狀陶瓷泡沫所填充。當於可燃饋料條件下操作氰化氫反應器時，根據本發明方法所獲得之爆燃衰減係尤其有利者；此等條件可於諸

如在超過大氣壓之壓力(例如，30 psig 或更高之壓力)下操作反應器時出現，或於存在富含氧之饋料的情況下操作反應器時出現。由於在富含氧之氰化氫反應器中燃燒可燃氣體饋料可能造成特高能之壓力升高，故於氰化氫反應器內緊鄰催化劑之上游的區域測得之饋料氣體的氧氮比超過約 25：75，例如超過約 30：70 或甚至超過約 50：50 時，使用本發明之方法係尤佳者。

實施例 3

所欲者係根據本發明之方法於可燃氣體服務中使用現存之製程容器。該製程容器為類似於第 1 圖之反應器的殼管(亦即，管狀)型氧化反應器，且係於下向流配置下操作，其中可燃氣體係於 3.42 巴(35 psig)之操作壓力以及 225℃之操作溫度下進入該容器之頂端頭部。該現存之反應器未配備緊急壓力釋放裝置如爆裂盤，故其必須能夠容納由任何爆燃事件所產生之壓力增加。該容器之入口頭部具有 675 厘米(22 吋)之直徑，且其壁厚度係足以於此等操作條件下提供 12 巴(160 psig)之最大容許圍阻壓力 P(c)。位於該入口反應器頭部之界定區域內的可燃氣體組成物係包含 5.5 體積%之丙烯、19.5 體積%之氧、73.3 體積%之氮以及 1.7 體積%之水。

根據本發明之方法，反應器入口頭部內之爆燃壓力可藉由在該反應器入口頭部之界定區域內完全充填 90mm 氧化鋁空心球(購自 DeepSea Power & Light of San Diego, CA USA)而予以衰減。儘管此等球係由 99.9%之氧化鋁加

工，但其體密度比水小，故有利於使該反應器必須支撐之衰減材料的總重量最小化。

因此，目的在於確定當此等 90mm 氧化鋁空心球被放置於該入口頭部內時，其能否提供足夠之壓力衰減並藉此於極端條件下安全地操作該現有之容器。然而，由於該 90mm 氧化鋁空心球(實際直徑為 9.14 厘米(3.6 吋))之物理尺寸，故無法直接用常用之 10 公升爆炸測試設備評估。

根據本發明之方法，首先使用實驗室規模之測試設備評估若干具有小規模成分之衰減材料，藉此評價其於實施例系統中的壓力衰減能力。於此特殊實施例中，係對 6mm 實心陶瓷球、6mm×10mm 實心陶瓷柱、以及 20ppi 陶瓷泡沫進行測試。

對於此實施例中所有 Pmax 之測定而言，係使用根據 2003 年 9 月之歐洲標準 DIN EN 13673-1 及 DIN EN 13673-2 之要求加以設計之 10 公升絕熱爆炸測試設備。具體而言，該設備係包括內半徑為 13.4 厘米(5.3 吋)之 10 公升絕緣測試球。該球係配備有快速作用之壓力轉換器(Kulite Semiconductor Products of New Jersey, USA 製造之 HEM-375-M 型)，以及兩個熱電偶、與電點火源。

於所有測試中(除了該空容器測試(測試 A)外)，亦將直徑 9 厘米、長度 9 厘米之柱狀線篩籠(wire-screen cage)放置於測試球內部之點火源周圍；此籠係確保於點火源周圍維持足夠之自由空間(約 0.57 公升)，藉此方可引發自持燃燒(self-sustaining combustion)。

與包含 5.5 體積%之丙烯、19.5 體積%之氧、73.3 體積%之氮與 1.7 體積%之水的極端可燃氣體組成物相匹配之測試氣體組成物係藉由在加熱之預混合容器內混合純的成分氣體而製備。於此實施例中之所有 Pmax 測定皆是使用此測試氣體組成物。

測試 A：空容器

首先於小於 1 毫巴之壓力下評估空的測試球(不包含衰減材料)。接著將預混合之測試氣體混合物引入該容器中，使得內部氣體壓力達到 3.4 巴(35psig)且初始溫度為 225℃。根據前述歐洲標準之要求，隨後點燃該氣體並監測壓力及溫度，從而獲得於該空的測試容器中造成爆燃所得到之 Pmax 的測量值。

測試 B：實心陶瓷球

將接近 14kg 之直徑為 6mm(0.25 吋)的 DENSTONE 57 支撐球(購自 Norton Chemical Products Corp. of Akron, Ohio, USA)傾倒入同一測試容器中，並允許其自組裝(不必藉由手工方式調整填充密度)。此代表陶瓷球占填充體積之 94%(即 9.43 公升為陶瓷球，0.57 公升為線篩籠內之空間)。與前例相同，接著評估該容器並隨後將測試氣體充填入其中，使得內部氣體壓力為 3.4 巴(35 psig)且初始溫度為 225℃。然後點燃該氣體，獲得於該填充有陶瓷球之容器中造成爆燃所得到之 Pmax 的測量值。此等陶瓷球之有效直徑 Ds 係測定為 0.64 厘米(1/4 吋)。此等陶瓷球之爆燃混合因子(DMF)係藉由式 DMF=Ds/Rts×40 予以決定，其中 Rts 係該測

試球之半徑，其值為 13.4 厘米。因此，經計算，此等陶瓷球之 DMF 為 1.91。

測試 C：實心陶瓷柱

將接近 13kg 之直徑為 6mm(0.25 吋)、長度為 10mm(3/8 吋)的 DENSTONE 57 顆粒(pellet)(購自 Norton Chemical Products Corp. of Akron, Ohio, USA)傾倒入同一測試容器中，並允許其自組裝(不必藉由手工方式調整填充密度)。此代表陶瓷柱狀顆粒占填充體積之 94%(即 9.43 公升為陶瓷柱，0.57 公升為線篩籠內之空間)。同樣地，評估該容器並隨後將測試氣體充填入其中，使得內部氣體壓力達到 3.4 巴(35psig)且初始溫度為 225℃。然後點燃該氣體，獲得於該填充有陶瓷柱之測試容器中造成爆燃事件所得到之 Pmax 的測量值。此等陶瓷柱之有效直徑 Ds 可依據考量內接於球之該柱的二維投影藉由數學計算而予以決定。更具體而言，如第 10 圖所示，該柱係以長 Hc、寬 Dc(與該柱之直徑相等)之矩形表示。自該圖可明顯看出，該內接矩形之對角線係與該外接圓之直徑 Ds 相等。因此，Hc=0.9525 厘米(3/8 吋)且 Dc=0.653 厘米(1/4 吋)，則有效直徑 Ds 可輕易地測定為 1.14 厘米(7/16 吋)，且經計算可知，此等陶瓷柱之爆燃混合因子(DMF)為 3.42。

測試 D：20 ppi 陶瓷泡沫

將厚度為 5 厘米(2 吋)×直徑為 15 厘米(6 吋)之 20 孔/吋(20 ppi)的 ALUCEL-LT 氧化鋁陶瓷泡沫(購自 Vesuvius Hi-Tech Ceramics of Alfred, New York, USA)盤依多層

堆疊形式以手工放入同一測試容器中。將某些泡沫盤破裂成十片碎片，再將此等碎片裝入鄰近整個盤之測試容器內，藉此使得測試球內之空隙最小化。此過程之結果使陶瓷泡沫占填充體積之約 94%，(即 9.43 公升為泡沫片，0.57 公升為線篩籠內之空間)。測試容器內所得之陶瓷泡沫的總量接近 4 千克。如前述者，評估該容器並隨後將測試氣體充填入其中，使得內部氣體壓力達到 3.4 巴(35psig)且初始溫度為 225℃。然後點燃該氣體，獲得於該填充有陶瓷泡沫之測試容器中造成爆燃事件所得到之 Pmax 的測量值。此等陶瓷泡沫之有效直徑 Ds 可藉由將孔/吋(ppi)測試值簡單轉化為厘米而輕易地決定。因此，此陶瓷泡沫之 Ds 為 0.127 厘米(1/20 吋)；且經計算可知，此陶瓷泡沫之爆燃混合因子(DMF)為 0.38。

此等測試之結果係總結於下表 3：

表 3

	成分	形狀/幾何性質	Ds(cm)	DMF	Pmax	
					(bar)	(psig)
A	空容器	- - -	- - -	0.00	19.2	263.3
B	陶瓷球	6 mm 直徑	0.64	1.90	7.8	98.0
C	陶瓷柱	10mm 長×6mm 直徑	1.14	3.42	9.6	124.0
D	陶瓷泡沫	20 ppi	0.127	0.38	6.8	83.9

得知此公開內容之有益效果的具有通常知識之人士顯然可自測試結果看出，全部三種測試成分將於實施例系統

內提供足夠之壓力衰減以允許安全操作。然而，仍欲了解此 90 mm 氧化鋁空心球能否用於此目的。

因此，為了回答此實施例所提出的問題，Pmax 與 DMF 間之數學關係決定為：Pmax(n)=0.9064×DMF(n)+6.3194。於數學領域中具有通常知識之人士可知此為 Pmax 與 DMF 間之線性關係。

第 10 圖之對角趨勢線顯示此關係。第 10 圖亦顯示測試 B、C 及 D 之 DMF vs. Pmax 資料。為方便起見，亦使用第 10 圖中 19.2 巴處之水平線來指出空容器之 Pmax。儘管無嚴格要求，但建議可藉由繪製該資料與趨勢線來提供目視之檢查，因為其提供了下述附加保證：該資料集中並無來自理想行為之重大錯誤或嚴重背離。

自第 10 圖可立即明顯看出，關於此實施例之具體測試系統，被選擇用於本發明之方法的任何衰減材料必須具有小於約 14 之 DMF，以於本實施例系統提供可測量之 Pmax 衰減。

此外，為了將爆燃壓力(Pmax)衰減至等於或小於該反應容器之最大圍阻壓力(P(c))，可由第 10 圖所見，或由該數學之線性關係決定，需使用 DMF 值為約 6 或更小的衰減材料。

最後，根據本發明之方法，決定 90mm 氧化鋁空心球之 DMF。於此例中，DMF 係基於式：DMF=Ds/Rpv×40 予以計算，其中 Ds 為該空心球之直徑(其值為 9.14 厘米)，以及 Rpv 為該製程容器之半徑(反應器入口頭部半徑，其值為 337.5

厘米）。藉此，決定了該空心球之 DMF 係為 1.08，且可得出下列結論：用 90mm 氧化鋁空心球完全填充該反應器入口頭部之界定區域可提供足夠之壓力衰減，以於極端條件下安全地操作該反應器。

比較例 1

前述實施例說明了用壓力衰減材料完全填充製程容器（「100%填充體積」之狀態）的有益效果。不過，於某些情況下，可預期用本發明之獨創概念代替上揭條件藉以例如使購買衰減材料之成本最小化或使其安裝時間最小化，該獨創概念係為於製程容器中使用少於 100%之填充體積。

再者，於此實施例之所有 Pmax 測定中亦同樣使用前揭之 10 公升絕熱爆炸測試設備。如前述者，將柱狀線篩籠放置成環繞於該測試球內部之點火源。

不過，於此等實驗中，柱狀線篩籠之內部體積係可變化者，以作為調整該測試球內部之壓力衰減材料體積的手段。使用三種尺寸之線篩籠：0.28 公升、0.57 公升、以及 2.4 公升。

又，包含 5.5 體積%之丙烯、19.5 體積%之氧、73.3 體積%之氮與 1.7 體積%之水的測試氣體組成物係藉由在加熱之預混合容器內混合純的成分氣體而製備。於此實施例之所有 Pmax 的測定皆是使用此測試氣體組成物。

測試 E

將 2.4 公升線篩籠配備於該測試容器點火器上。將接近 10.7kg 之直徑為 6mm（1/4 吋）的 DENSTONE 57 支撐球（購

自 Norton Chemical Products Corp. of Akron, Ohio, USA)傾倒入該測試容器中，並允許其自組裝(不必藉由手工方式調整填充密度)。此代表陶瓷球占填充體積之 76%(即 7.6 公升為陶瓷球，2.4 公升為線篩籠內之空間)。與前例相同，接著評估該容器並隨後將測試氣體充填入其中，使得內部氣體壓力達到 3.4 巴(35psig)且初始溫度為 225℃。然後點燃該氣體，獲得於該填充有陶瓷球之測試容器中造成爆燃事件所得到之 Pmax 的測量值。

測試 F

將 0.57 公升線篩籠(直徑為 9 厘米、長度為 9 厘米)配備於該測試容器點火器上。將接近 13.4 kg 之直徑為 6mm (1/4 吋)的 DENSTONE 57 支撐球(購自 Norton Chemical Products Corp. of Akron, Ohio, USA)傾倒入相同之測試容器中，並允許其自組裝(不必藉由手工方式調整填充密度)。此代表陶瓷球占填充體積之 94%(即 9.43 公升為陶瓷球，0.57 公升為線篩籠內之空間)。與前例相同，接著評估該容器並隨後將測試氣體充填入其中，使得內部氣體壓力達到 3.4 巴(35psig)且初始溫度為 225℃。然後點燃該氣體，獲得於該填充有陶瓷球之測試容器中造成爆燃事件所得到之 Pmax 的測量值。

測試 G

將 0.28 公升線篩籠(直徑為 9 厘米、長度為 4.5 厘米)配備於該測試容器點火器上。將接近 14 kg 之直徑為 6mm (1/4 吋)的 DENSTONE 57 支撐球(購自 Norton Chemical

Products Corp. of Akron, Ohio, USA)傾倒入相同之測試容器中，並允許其自組裝(不必藉由手工方式調整填充密度)。此代表陶瓷球占填充體積之97%(即9.72公升為陶瓷球，0.28公升為線篩籠內之空間)。與前例相同，接著評估該容器並隨後將測試氣體充填入其中，使得內部氣體壓力達到3.4巴(35 psig)且初始溫度為225℃。然後點燃該氣體，獲得於該填充有陶瓷球之容器中造成爆燃事件所得到之Pmax的測量值。

此等測試之結果係總結於下表4：

表4

	成分	空隙體積（公升）	%填充體積（公升）	Pmax	
				(bar)	(psig)
A	空容器	10	0%	19.2	263.3
E	6mm陶瓷球	2.4	76%	10.5	138.0
F	6mm陶瓷球	0.57	94%	7.8	98.0
G	6mm陶瓷球	0.28	97%	7.0	86.1

此資料顯示，對於由具有相同幾何性質及相同有效直徑(Ds)之成分所構成之衰減材料而言，其填充體積越高，可達到之壓力衰減也越大。此等資料點間之數學關係確定為：$Pmax(n)=-0.1214\times\%VF(n)+19.2$，其中%VF係表示所使用之衰減材料的填充體積。具有通常數學知識之人士可知，此係Pmax與%VF間之線性關係。

使用此關係，填充體積為50%之衰減材料預計可將

Pmax 衰減至約 13.1 巴(175psig)，亦即將爆燃壓力降低約 30%(=6.1/19.2)。再者，填充體積為 35%之衰減材料預計可將 Pmax 降低至約 15 巴(200 psig)，亦即將爆燃壓力降低約 20%(=4.2/19.2)。

此外，填充體積為 20%之衰減材料預計可將 Pmax 衰減至約 16.8 巴(229psig)，亦即將爆燃壓力降低約 10%(=2.4/19.2)。

由於低填充體積%條件下之相對較小的 Pmax 降低程度、以及外推該線性關係時將背離實際測量值的潛在不確定性，建議在執行本發明方法時使用填充體積超過 20%之衰減材料。舉例而言，在執行本發明方法時可使用填充體積至少為 35%之衰減材料，或甚至使用填充體積至少為 50%或 75%之衰減材料。

實施例 4

鮑爾環為由具有至少一個貫穿路徑之成分所構成之衰減材料的一個常見實例。

自上揭實施例 1 所提供之表 1 可看出，關於爆燃壓力衰減，具有至少一個貫穿路徑之成分的表現並非總能如預期。此種背離理想衰減材料行為之情況可能存在於某些實例中，如將 2 吋鮑爾環用於 4 立方米之測設容器內之例(見上揭實施例 1)，其導致 Pmax 實際上變得比空容器之 Pmax 更大。

為了說明此種背離理想衰減材料行為之情況，係計算上揭表 1 中所示鮑爾環測試之 DMF 值，並將此 DMF vs. Pmax

資料繪製成如第 11 圖所示者。本實施例中此等資料點間之數學關係確定為：Pmax(n)=-4.2146x[DMF(n)]^2+27.905 x DMF(n)-16.939。具有通常數學知識之人士可知，此係 Pmax 與 DMF 間之多項式關係而非理想化之線性關係(見第 11 圖所示之多項式曲線)。為方便起見，亦使用第 11 圖中於 21 巴(290 psig)處之水平線指出空容器之 Pmax。

自第 11 圖可看出，關於爆燃壓力衰減，由具有至少一個貫穿路徑之成分所構成之衰減材料的表現並非總能如預期。且顯然的，隨著 DMF 之增加，此種非理想行為越發明顯。雖不欲受理論所限制，惟提出了下述假設：該貫穿路徑之有效內直徑的增加有助於使壓力波傳輸通過該成分，意指損失徑向偏轉而促進了該爆燃壓力波之軸向傳播，從而造成 Pmax 衰減程度之下降。如前所述，於某些實例中，如在使用 2 吋鮑爾環之例(上揭表 1)中，最終結果可能為：Pmax 實際上變得比空容器之 Pmax 還大。

為了更清楚地理解非理想之衰減材料行為(亦即，使用具有至少一個貫穿路徑之成分者)，係使用具有多於一個貫通路徑之成分來進行 Pmax 之附加測定，具體而言，係使用 3/4 吋 PROWARE™ TY-PAK ®熱轉移介質及 HexPak™ 90 熱轉移介質(二者均購自 Saint-Gobain Norpro of Stow, Ohio, USA)。再次使用前揭之測試步驟與 10 公升測試設備進行此等實驗。所有此等實驗之初始壓力皆為 3.4 巴(35psig)且其初始溫度為 225℃。於所有實驗中皆使用包含 5.5 體積%之丙烯、19.5 體積%之氧、73.3 體積%之氮與 1.7 體積%之

水的可燃氣體組成物。

自表 1(見上揭第一實施例)與下表 5 二者之資料可看出，根據本發明之方法，由具有至少一個貫穿路徑之成分所構成之衰減材料可成功用來衰減爆燃壓力。

表 5

	成分	外部幾何性質	貫穿路徑數目	Pmax	
				(bar)	(psig)
A	空容器	- - -	- - -	19.2	263
K	Proware™ Ty-pak®	蝶形瓦	2	13.3	178
L	Proware™ Ty-pak®	蝶形瓦	2	12.1	161
M	Proware™ Ty-pak®	蝶形瓦	2	13.2	177
N	HexPak™ 90	六面體	91	16.4	223
O	HexPak™ 90	六面體	91	17.5	239

咸信對於由具有至少一個貫穿路徑之成分所構成之衰減材料而言(其中，各成分之貫穿路徑為小尺寸並因而提供最小之軸向流動能力)，DMF 值與 Pmax 值之間存在理想的線性關係。然而，對於得知本公開之有益效果的具有通常知識之人士而言，很顯然的，隨著成分尺寸(以及藉此造成之 DMF 值)與貫穿路徑尺寸之增加，具有至少一個貫穿路徑之成分可能會偏離理想之衰減材料行為。因此，為了查明於何處出現潛在之理想線性行為的偏離，建議實施更高程度之實驗室測試來評估由具有貫穿路徑之成分所構成的衰減材料。

實施例 5

再次使用前述之 10 公升絕熱爆炸測試設備來進行此實施例之 Pmax 測定，其中線網柱係經評估以使用作為衰減材料。於此實施例中，將 0.673 公升的柱狀線篩籠放置成環繞該測試球內部之點火源。

包含 5.5 體積%之丙烯、19.5 體積%之氧、73.3 體積%之氮與 1.7 體積%之水的測試氣體組成物係藉由在加熱的預混合容器內混合純的成分氣體而製備。於此實施例之所有 Pmax 測定中皆是使用此測試氣體組成物。

測試 H、I 及 J

自捲曲之 18 磅/立方呎(lb/cuft)的 304L 不銹鋼線網之矩形板製成捲曲線網柱。該等板係捲繞為直徑為約 7.6 厘米(3 吋)、長度為約 15.2 厘米(6 吋)之柱。此等柱中，某些係以其原有之形式使用，而某些則裁切成較短之長度以使其更符合該測試容器之曲率。將接近 2.4 千克之捲曲線網柱以手工方式放入測試容器內，以提供具有最小化的空隙與通道之緊密填充。此表示該網柱占填充體積之 93%。如前述實驗者，接著評估該容器並隨後將測試氣體充填入其中，使得內部氣體壓力達到 3.4 巴(35 psig)且初始溫度為 225℃。然後點燃該氣體，獲得於該填充有捲曲線網柱之容器中造成爆燃事件所得到之 Pmax 的測量值。重複實驗以評估此具體實施例之變化性，其結果係如下表 6 所示。

表 6

	成分	Pmax	
		(bar)	(psig)
A	空容器	19.2	263
H	捲曲線網柱	7.54	95
I	捲曲線網柱	7.36	92
J	捲曲線網柱	7.56	95

應注意，由於線網係可壓縮者，因此可提供無法由剛性成分如陶瓷球或陶瓷泡沫達到之緊密裝填。DMF 值的建立係用以說明剛性成分而非可壓縮成分之幾何性質、尺寸以及填充部分(packing fraction)的可輕易重現效果。其結果為 DMF 之概念並非顯然可可靠地應用於線網成分之放大；若選擇使用線網柱，建議直接實施此處所揭示之測試來保證該獨創概念之適當執行，再者，如足夠細心，則可使此等成分之填充具有盡可能高之可重現性。

此外，應注意線網成分之沉降與壓縮可能會影響該成分於製程容器內之填充均一性。具有通常知識之人士顯然可了解，與實驗室規模之測試容器相比，沉降與壓縮更可能出現於大型之商業規模容器，此係由於當線網成分之堆疊高度變大時會使靜負載(static loading)增加。於此形況下需擔心的是，沉降與壓縮會改變該線網填充密度之均一性並因而降低線網於衰減爆燃壓力之有效性。儘管根據本發明之方法，可於製程容器中使用線網覆蓋層，但此等

覆蓋層(尤其於製程容器內用作主體成分時)亦可能會沉降或壓縮。因此，較佳者係於放入該製程容器前，先將線網捲繞成柱，藉此以提供更高之抗沉降性與抗壓縮性。所以，於本發明之一個具體實施例中，為了使該製程容器內之衰減材料的總重量最小化，可使用未捲曲之線網來形成線網柱，或亦可使用捲曲之線網。

應理解，上揭本發明之具體實施例係僅供例示說明用，熟悉此技藝之人士可於不背離本發明之上揭精神與範疇下進行改變及修飾。所有此等改變及修飾均仍為本發明之範疇所涵蓋。

【圖式簡單說明】

藉由上揭具體實施例並參照後附圖式將可更完全理解本發明，圖式中，相似之元件符號係表示相似之特徵，其中：

第 1 圖為製程容器(亦即，用於催化氣相反應之管狀反應器)之部分剖面正視示意圖；

第 2 圖為第 1 圖之管狀反應器的界定入口區域之剖面俯視示意圖，該圖係沿第 1 圖之 A-A 線截取並朝箭頭之方向觀看；

第 3A 圖為第 1 圖之管狀反應器中僅含該界定入口區域的剖面正視示意圖，其係顯示入口管板及反應器頭部；

第 3B 圖為第 3A 圖之界定入口區域的剖面正視示意圖，其係顯示入口管板及反應器頭部，且含有衰減材料，該衰減材料包括陶瓷球成分；

第 4A 至 4C 圖為一系列由電腦模型產生之圖形影像(computer model-generated graphical image)，其係顯示在不包含衰減材料之界定區域內，自點火處起之爆燃壓力波前的發展(progression)；

第 5A 至 5J 圖為一系列由電腦模型產生之圖形影像，其係顯示在含有衰減材料之界定區域內，自點火處起之爆燃壓力波前的發展(progression)，該衰減材料包括陶瓷球；

第 6 圖為與管狀反應器連接之反應器入口-頭部組合件(該組合件與入口管板形成封閉的頂部空間(界定入口區域))之正視圖，其係顯示用於該空間內之衰減材料的網成分之配置及位置；

第 7A 圖為第 6 圖之反應器入口組合件的剖面俯視圖，該圖係沿第 6 圖之 R-R 線截取並朝箭頭方向觀看，其係顯示用於該空間內之衰減材料的網成分之配置及位置，各個沿 S-S、T-T、U-U 及 V-V 線截取之剖面俯視圖係與第 7A 圖所示者相同；

第 7B 圖為第 6 圖之反應器入口組合件的剖面俯視圖，該圖係沿第 6 圖之 X-X 線截取並朝箭頭方向觀看，其係顯示用於該空間內之衰減材料的網成分之配置及位置；

第 7C 圖為第 6 圖之反應器入口組合件的剖面俯視圖，該圖係沿第 6 圖之 Y-Y 線截取並朝箭頭方向觀看，其係顯示用於該空間內之衰減材料的網成分之配置及位置；

第 7D 圖為第 6 圖之反應器入口組合件的剖面俯視圖，

該圖係沿第 6 圖之 Z-Z 線截取並從箭頭方向觀看者，其係顯示用於該空間內之衰減材料的網成分之配置及位置；

第 8 圖為自點火時間起至 Pmax 後壓力不再變化為止，爆燃壓力隨時間變化之一般化示意圖；

第 9 圖係顯示如何基於外接圓之直徑來估算柱狀衰減元件之有效直徑；

第 10 圖為經驗資料(亦即，爆燃混合因子(DMF)對最大爆燃壓力(Pmax))之線性化示例圖，該經驗資料係藉由實施包含氧化鋁空心球之衰減材料的實驗以及依據本發明之計算而得到者；

第 11 圖為經驗資料(亦即，爆燃混合因子(DMF)對最大爆燃壓力(Pmax))之示例圖，該經驗資料係藉由實施包含鮑爾環之衰減材料的實驗以及依據本發明之計算而得到者。

【主要元件符號說明】

10	管狀反應器	12a、12b、12c、12d	管
14、16	有孔板	18	殼體
20、34	界定入口區域	22	界定出口區域
24、26	反應器頭部	28	衰減材料之成分
30	陶瓷網或線篩板	32	反應器
36	入口管板	38	入口管道凸緣
40	中心線	42	碟形封頭
44	直壁通道部分		

50、52、54、60、62、64、70、72、74、80、82、84、86 線網捲筒

56、58、66、76、88　線網覆蓋層

68a、68b　桿

CS　陶瓷球

DR　界定區域

PWF　壓力波前

P　點火處

S　實心衰減材料

W　容器壁

七、申請專利範圍：

1. 一種藉由選擇衰減材料並將該材料放置於製程容器之界定區域內而用於衰減爆燃壓力之方法，該爆燃壓力係由可燃氣體於製程容器之界定區域內燃燒所產生，該製程容器於已知操作條件(包括初始饋料氣體組成物、溫度及壓力)下具有最大容許圍阻壓力($P_{(c)}$)，其中，該界定區域內之尖峰壓力係於點火後達到，且其中該界定區域之橫截面半徑為 R(v)，其中，所選擇之該衰減材料於該操作條件下仍維持其物理形狀且具有複數種成分，以及所有成分均具有幾何性質及有效直徑，該方法包括：

(A) 藉由研究包含尖峰爆燃壓力與爆燃混合因子之關聯對的經驗資料，決定適用於該製程容器界定區域內之衰減材料成分的最大有效直徑，該經驗資料係說明複數種衰減材料與可燃氣體點火後所達到之尖峰壓力間的線性關係，至少一種該衰減材料所具有之成分的有效直徑係與其他衰減材料之成分的有效直徑不同，且該可燃氣體具有與初始饋料氣體組成物相同之組成，該最大有效直徑之決定方法包括：

(1) 使用半徑為 R(ts)之測試球，於不存在任何衰減材料之情況下，依據經驗測定該可燃氣體點火所產生之尖峰爆燃壓力(Pmax(0))；

(2) 使用與步驟(1)所用相同之測試球，於至少存

在具有第一有效直徑(Ds(1))之所選擇的第一衰減材料以及具有不同於第一有效直徑之第二有效直徑(Ds(2))之所選擇的第二衰減材料之情況下，依據經驗測定該可燃氣體點火所產生之至少第一尖峰爆燃壓力(Pmax(1))及第二尖峰爆燃壓力(Pmax(2))；

(3) 藉由使用下列數學關係：

$$DMF(n)=(Ds(n)/Rts)\times 40$$

計算於步驟(1)及步驟(2)中依據經驗所測定之各關聯尖峰爆燃壓力的爆燃混合因子(DMF(0)、DMF(1)、DMF(2)…DMF(n))，其中 n=0、1、2…n，且 Ds(n)及 R(ts)係以厘米為單位而測得；

(4) 基於下列數學關係：

$$Pmax(n)=M\times DMF(n)+B$$

決定可變參數 M 及 B 之數值，從而使得包含尖峰爆燃壓力與爆燃混合因子之關聯對([Pmax(0), DMF(0)])、([Pmax(1), DMF(1)])、([Pmax(2), DMF(2)])…([Pmax(n), DMF(n)])之經驗資料線性化，其中 n=0、1、2…n；

(5) 基於下列數學關係：

$$DMF(a)=[P(c)-B]/M$$

使用該製程容器之最大容許圍阻壓力(P(c))以及步驟(4)所計算得之 M 與 B 之數值，計算適用

於該製程容器之最大爆燃混合因子(DMF(a))；

(6) 使用下列數學關係：

$$Ds(a)=[DMF(a)\times R(v)]/40$$

計算適於與橫截面半徑為 R(v)之製程容器併用的衰減材料之最大有效直徑(Ds(a))；以及

(B) 選擇具有小於或等於所計算得之最大有效直徑(Ds(a))的有效直徑之適當衰減材料，並將所選擇之衰減材料放置於該製程容器之界定區域內，藉此使得成分間之空隙及開放路徑最小化。

2. 如申請專利範圍第 1 項之方法，其中，依據經驗測定該尖峰爆燃壓力(Pmax(0))之步驟(A)(1)包含：

(a) 於預定操作條件之溫度及壓力下，點燃該測試球中的可燃氣體，或者該測試球可為空的；以及

(b) 於點火後測量該測試球中所達到之最高壓力(Pmax(0))；

且其中依據經驗測定至少第一尖峰爆燃壓力(Pmax(1))及第二尖峰爆燃壓力(Pmax(2))之步驟(A)(2)包含：

(a) 將所選擇之第一衰減材料充填入該測試球後，於預定操作條件之溫度及壓力下點燃該測試球中的可燃氣體；

(b) 於點火後測量該充填所選擇之第一衰減材料之測試球中所達到之最高壓力(Pmax(1))；

(c) 將所選擇之第二衰減材料充填入該測試球後，

於預定操作條件之溫度及壓力下點燃測試球中的可燃氣體；以及

(d) 於點火後測量該充填所選擇之第二衰減材料之測試球中所達到之最高壓力(Pmax(2))。

3. 如申請專利範圍第 1 項之方法，其中，步驟(A)(2)係包括依據經驗測定複數個尖峰爆燃壓力(Pmax(1)、Pmax(2)、Pmax(3)…Pmax(n))，並將該複數個尖峰爆燃壓力分別使用於計算及線性化步驟(3)、(4)、(5)及(6)。

4. 如申請專利範圍第 1 項之方法，其中，該可燃氣體係包含烴及氧。

5. 如申請專利範圍第 1 項之方法，其中，該衰減材料係包括選自下列所構成群組之至少一種類型的材料：陶瓷、礦物、金屬及聚合物；以及該衰減材料之幾何性質係包括選自下列所構成群組之至少一種形狀：球狀、橢圓狀、柱狀、線狀、鞍狀、塊狀、狹長狀與多面體狀，且具有選自下列所構成群組之至少一個特徵：實心、空心、多孔、以及具有至少一個貫穿路徑。

6. 如申請專利範圍第 1 項之方法，其中，該製程容器為殼管反應器且係於流動條件下操作。

7. 如申請專利範圍第 1 項之方法，其中，當該衰減材料隨機放置於該製程容器之界定區域內為非自排序者時，放置步驟(B)係包括以手工方式設置位於界定區域內之該衰減材料的各成分，從而使得成分間之空隙及開放路徑最小化。

8. 如申請專利範圍第 1 項之方法，其中，該衰減材料係占該界定區域體積之至少 20%。

9. 一種用於衰減可燃氣體於其內燃燒所產生之爆燃壓力之管狀反應器，該管狀反應器包括於第一有孔板及第二有孔板間延伸之複數根管且所有管皆封閉於殼體中，該殼體形成使流體環繞該複數根管循環之殼側區域，及反應側區域，該反應側區域係包含藉由該第一有孔板於一側予以界限並具有與該第一有孔板半徑相等之半徑的界定入口區域，以及藉由該第二有孔板於一側予以界限並具有與該第二有孔板半徑相等之半徑的界定出口區域，其中該複數根管係各別與該界定入口區域及該界定出口區域兩者流體連通藉以使反應流體流通，該管狀反應器進一步包括具有複數種成分之衰減材料，所有成分皆具有幾何性質且被放置成使得成分間之空隙與開放路徑最小化，其中該衰減材料占該界定入口區域及該界定出口區域至少之一者的至少 20%；其中該衰減材料之成分具有滿足下列數學關係之有效直徑(Ds(a))：

$$Ds(a)=[DMF(a)\times R(v)]/40$$

其中 Ds(a)係以厘米計，(DMF(a))為與該衰減材料相關聯之爆燃混合因子且係藉由申請專利範圍第 1 項之方法依據經驗而決定，以及 R(v)為被該衰減材料占據之界定入口區域或界定出口區域的半徑。

10. 如申請專利範圍第 9 項之反應器，其中，該可燃氣體係包含烴及氧，且該反應器係於流動條件下操作。

11. 如申請專利範圍第 9 項之反應器，其中，該衰減材料係包括選自下列所構成群組之至少一種類型的材料：陶瓷、礦物、金屬及聚合物；以及該衰減材料之幾何性質係包括選自下列所構成群組之至少一種形狀：球狀、橢圓狀、柱狀、線狀、鞍狀、塊狀、狹長狀與多面體狀，且具有選自下列所構成群組之至少一個特徵：實心、空心、多孔、以及具有至少一個貫穿路徑。

12. 如申請專利範圍第 9 項之反應器，其中，兩種或更多種衰減材料係放置於該界定入口區域及界定出口區域之至少一個區域內，且至少一種該衰減材料所具有之成分的幾何性質係與其它衰減材料之成分的幾何性質不同。

13. 如申請專利範圍第 9 項之反應器，其中，兩種或更多種衰減材料係放置於該界定入口區域及界定出口區域之至少一個區域內，且至少一種該衰減材料所具有之成分的有效直徑(Ds(a))係滿足下列數學關係：

$$Ds(a)=[DMF(a)\times R(v)]/40$$

其中 Ds(a)係以厘米計，(DMF(a))為與該衰減材料相關聯之爆燃混合因子且係藉由申請專利範圍第 1 項之方法依據經驗而決定，以及 R(v)為被該衰減材料占據之界定入口區域或界定出口區域的半徑。

14. 一種於易燃操作條件(包括氣體饋料組成物、溫度及壓力)下安全地實施氣相反應之方法，係包括：

(A) 提供具有界定區域之反應容器，該氣體饋料組成物係通過該界定區域，該界定區域體積之至少 20%係

被至少一種衰減材料所占據，該衰減材料於該易燃操作條件下仍保持其物理形狀且係根據申請專利範圍第 1 項之方法予以選擇；

(B) 於該反應容器中提供一種或多種包括烴、含氧氣體及視需要之惰性材料之氣相材料，以形成通過該界定區域之氣相饋料組成物；

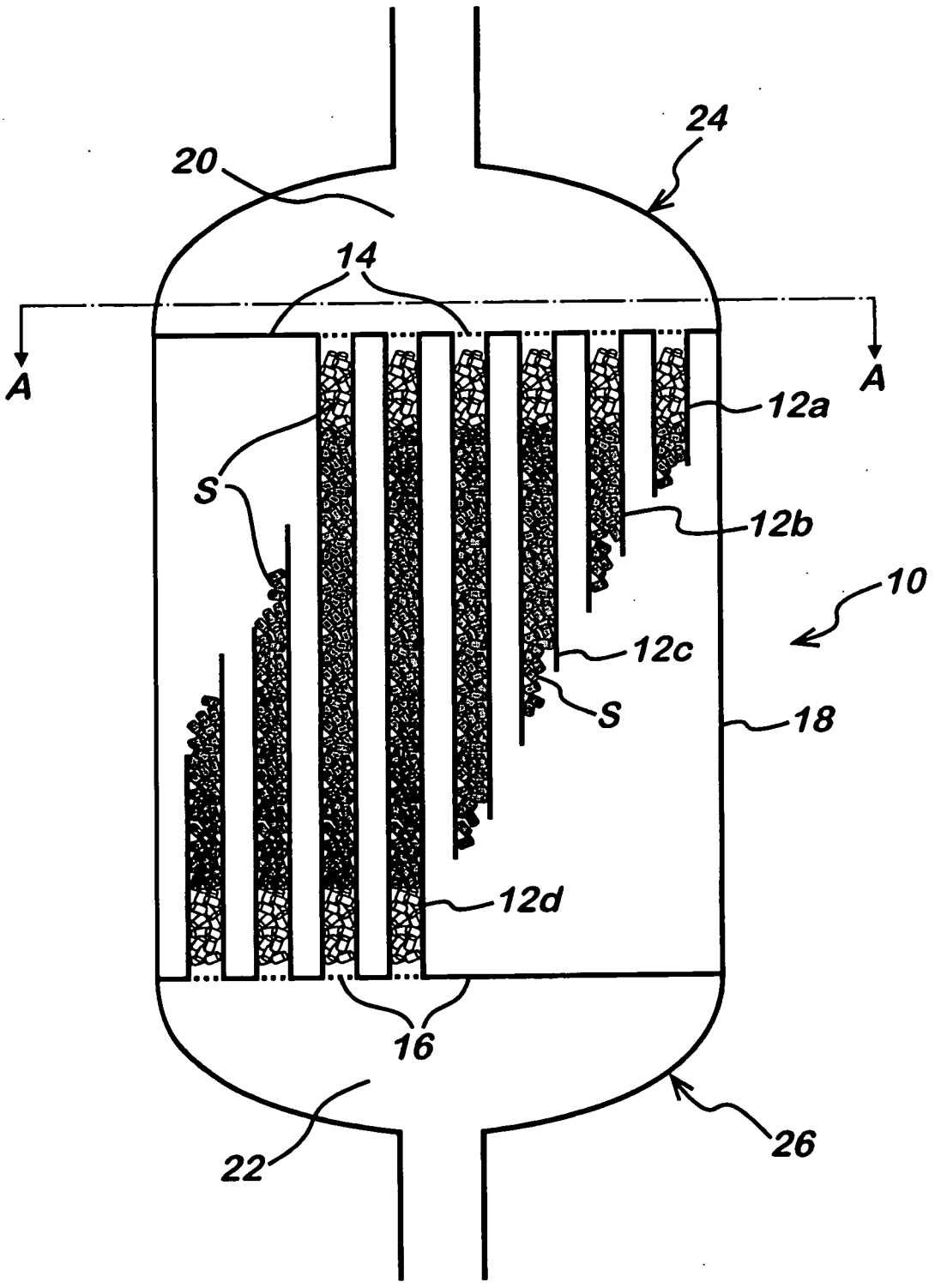
(C) 使得該氣相饋料組成物於該反應容器中、於使該氣相饋料組成物易燃之溫度或壓力下進行一種或多種反應。

15. 如申請專利範圍第 14 項之方法，其中，該衰減材料係包括選自下列所構成群組之至少一種類型的材料：陶瓷、礦物、金屬及聚合物；以及該衰減材料之幾何性質係包括選自下列所構成群組之至少一種形狀：球狀、橢圓狀、柱狀、線狀、鞍狀、塊狀、狹長狀與多面體狀，且具有選自下列所構成群組之至少一個特徵：實心、空心、多孔、以及具有至少一個貫穿路徑。

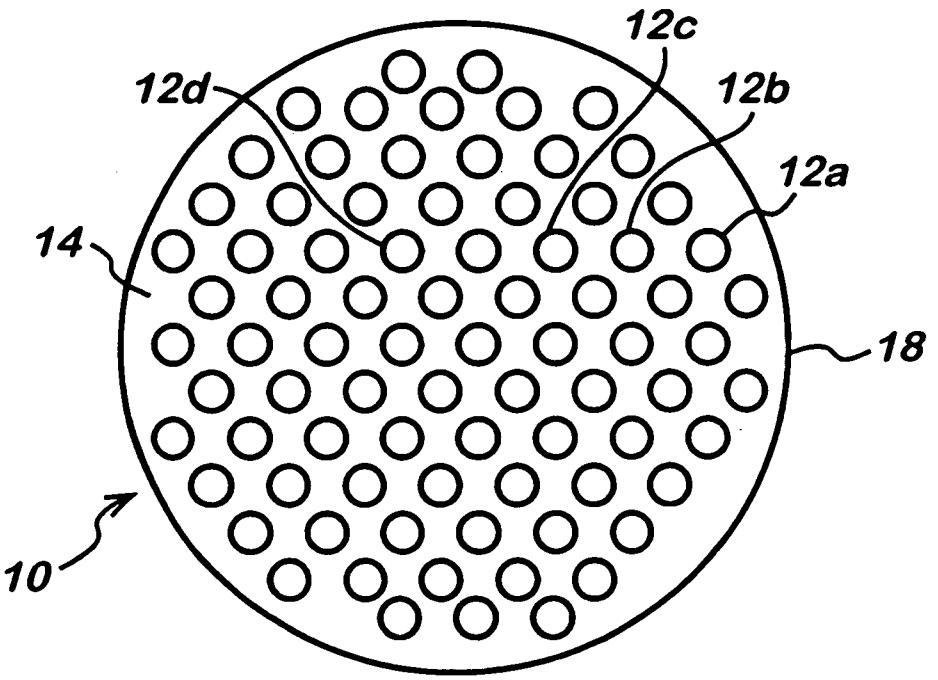
16. 如申請專利範圍第 15 項之方法，其中，該烴係包括丙烯，該氣相反應係包括丙烯之氧化，以及該衰減材料係包括捲曲線網柱與捲曲線網多面體。

17. 如申請專利範圍第 15 項之方法，其中，該一種或多種氣相材料進一步包括氨，該烴包括甲烷，該氣相反應包括甲烷之氨氧化，以及該衰減材料包括陶瓷泡沫多面體。

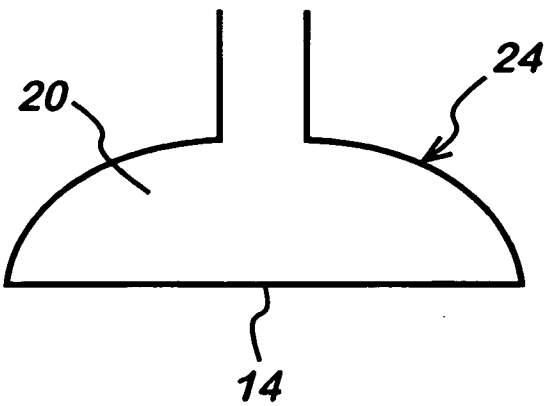
八、圖式：



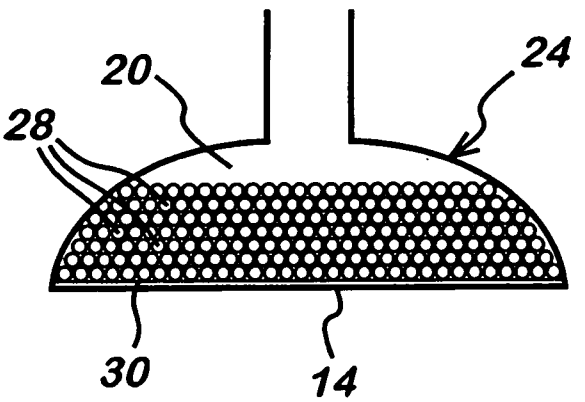
第1圖



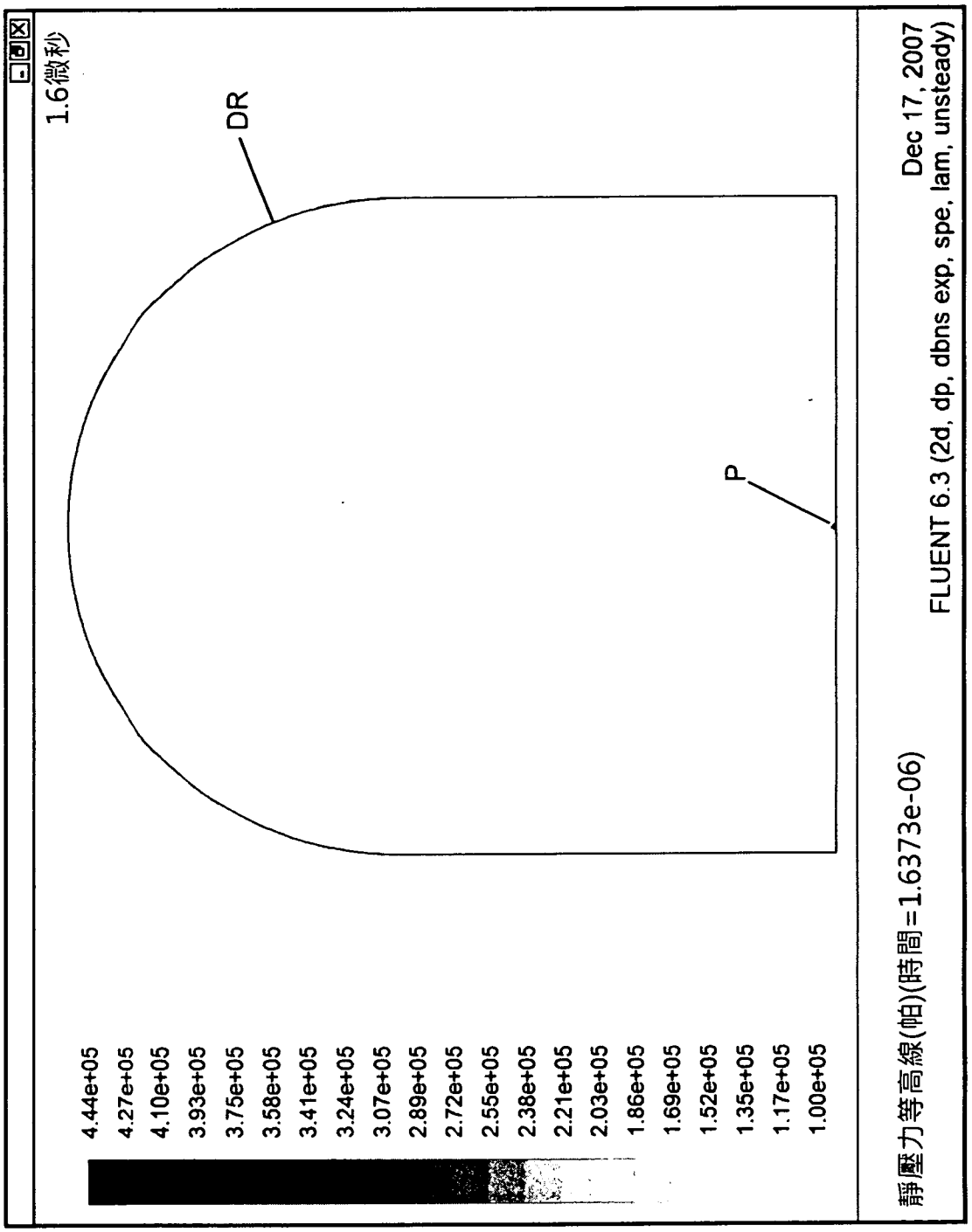
第2圖



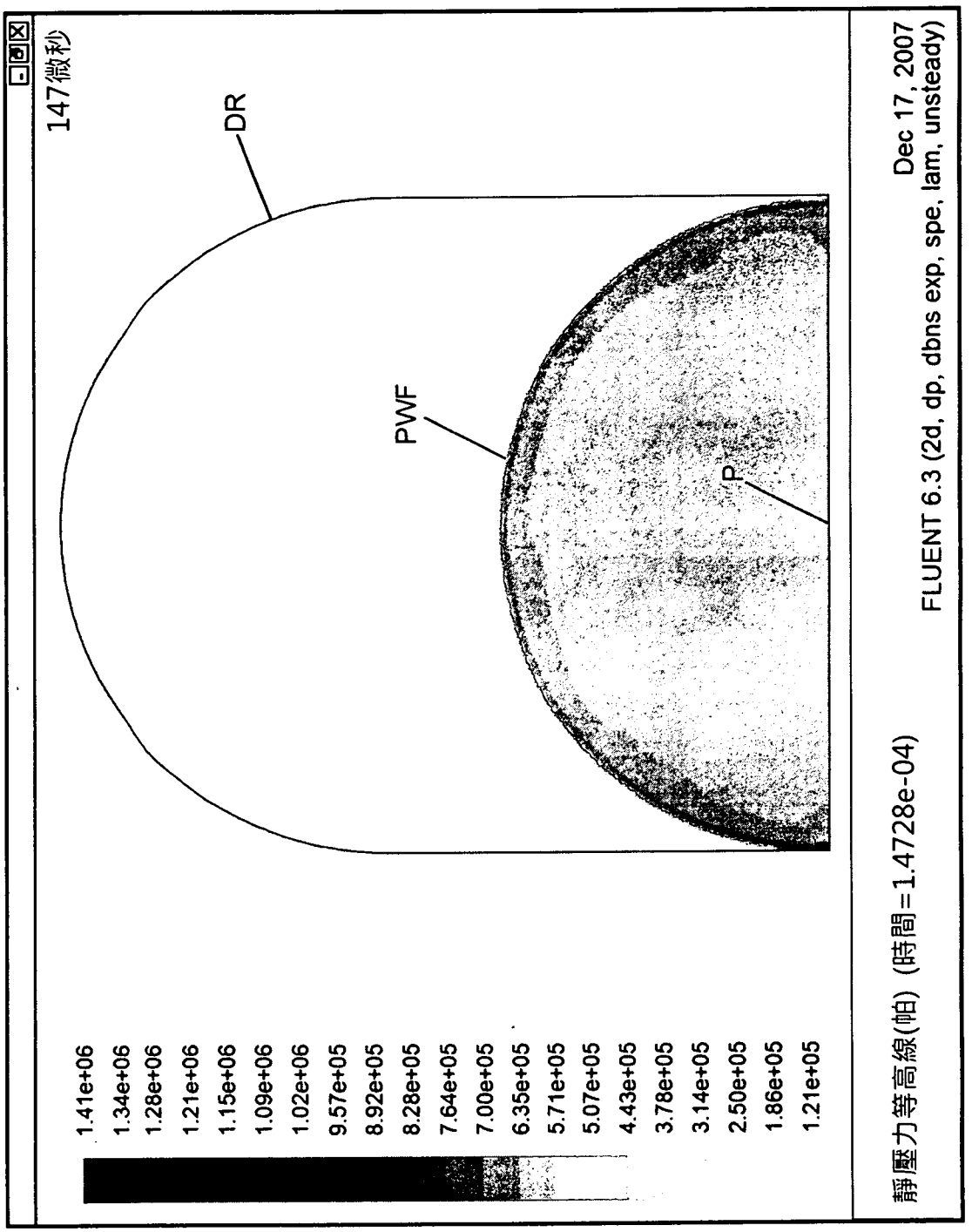
第3A圖



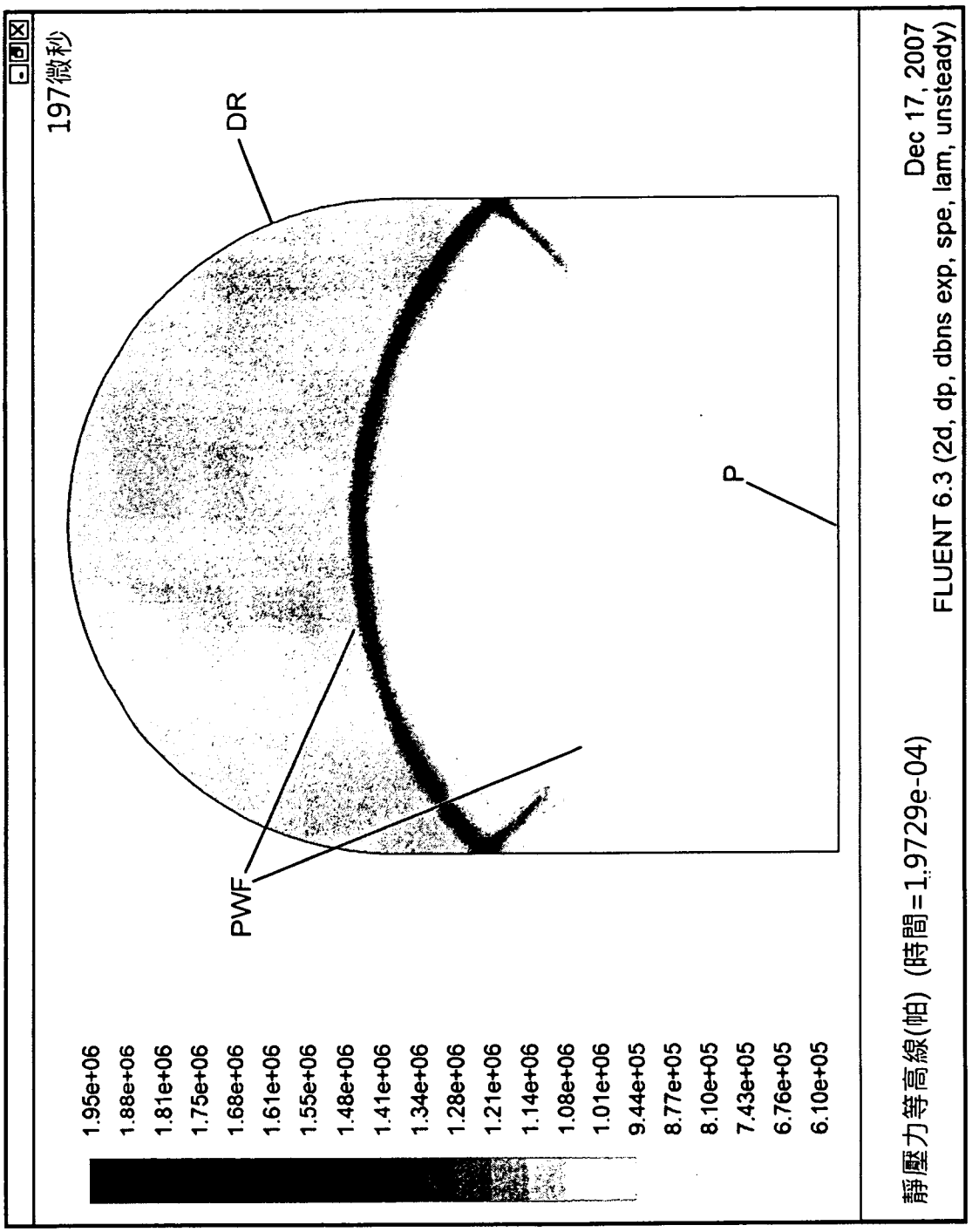
第3B圖


1.6微秒
DR
P
4.44e+05
4.27e+05
4.10e+05
3.93e+05
3.75e+05
3.58e+05
3.41e+05
3.24e+05
3.07e+05
2.89e+05
2.72e+05
2.55e+05
2.38e+05
2.21e+05
2.03e+05
1.86e+05
1.69e+05
1.52e+05
1.35e+05
1.17e+05
1.00e+05
靜壓力等高線(帕)(時間=1.6373e-06)
Dec 17, 2007
FLUENT 6.3 (2d, dp, dbns exp, spe, lam, unsteady)

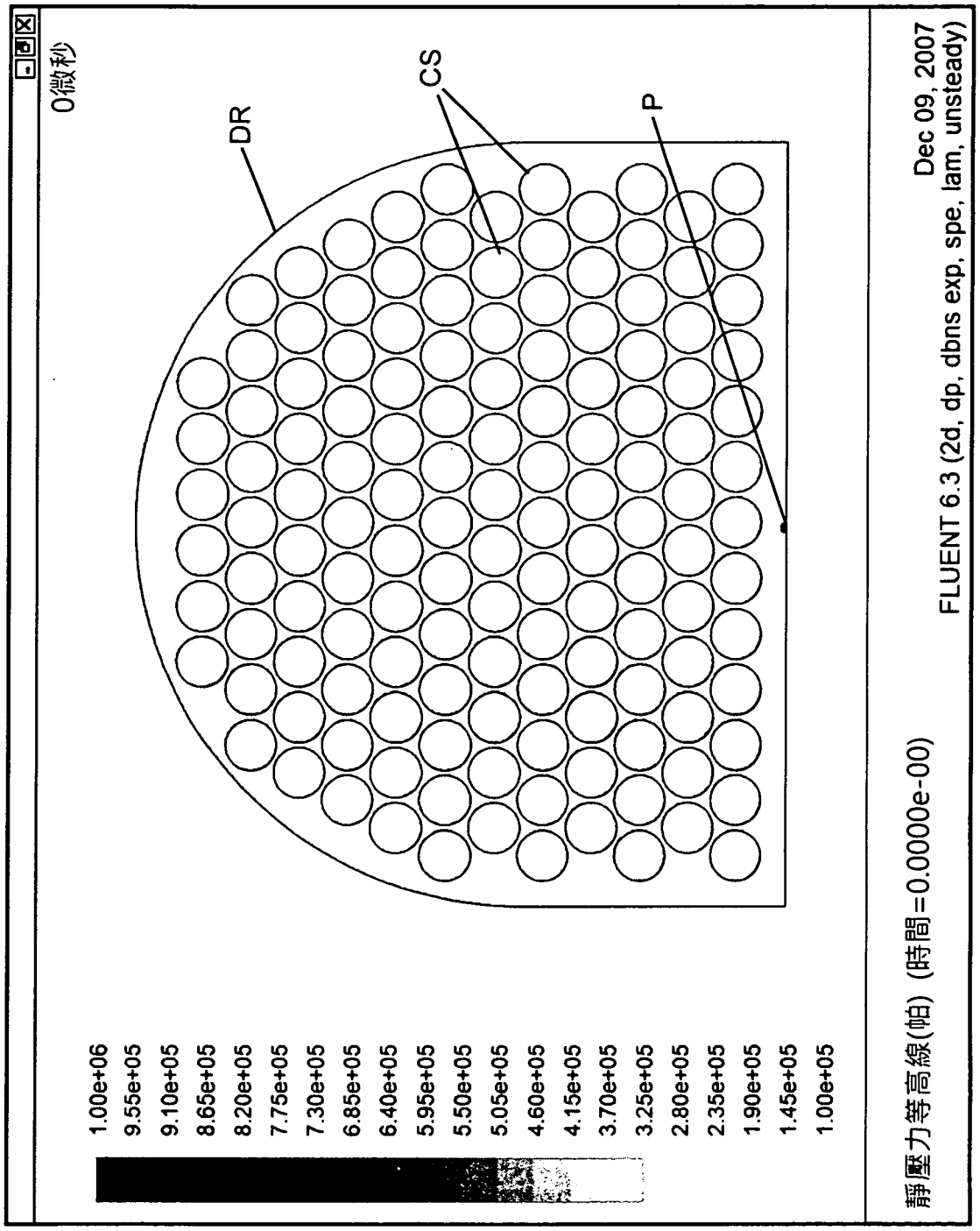
第4A圖


147微秒
DR
PWF
P
1.41e+06
1.34e+06
1.28e+06
1.21e+06
1.15e+06
1.09e+06
1.02e+06
9.57e+05
8.92e+05
8.28e+05
7.64e+05
7.00e+05
6.35e+05
5.71e+05
5.07e+05
4.43e+05
3.78e+05
3.14e+05
2.50e+05
1.86e+05
1.21e+05
靜壓力等高線(帕) (時間=1.4728e-04)
Dec 17, 2007
FLUENT 6.3 (2d, dp, dbns exp, spe, lam, unsteady)

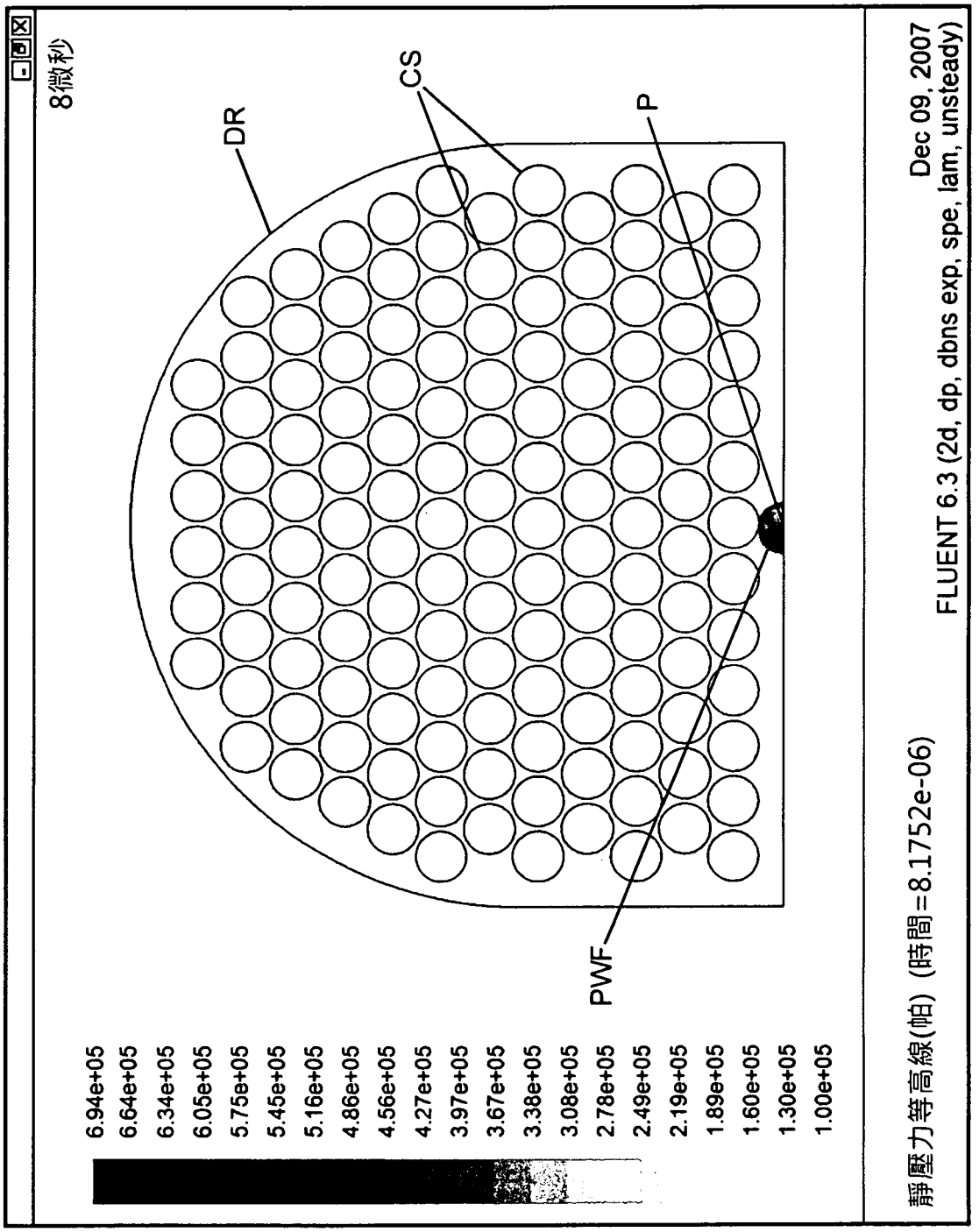
第4B圖


197微秒
DR
PWF
P
1.95e+06
1.88e+06
1.81e+06
1.75e+06
1.68e+06
1.61e+06
1.55e+06
1.48e+06
1.41e+06
1.34e+06
1.28e+06
1.21e+06
1.14e+06
1.08e+06
1.01e+06
9.44e+05
8.77e+05
8.10e+05
7.43e+05
6.76e+05
6.10e+05
靜壓力等高線(帕) (時間=1.9729e-04)
FLUENT 6.3 (2d, dp, dbns exp, spe, lam, unsteady)
Dec 17, 2007

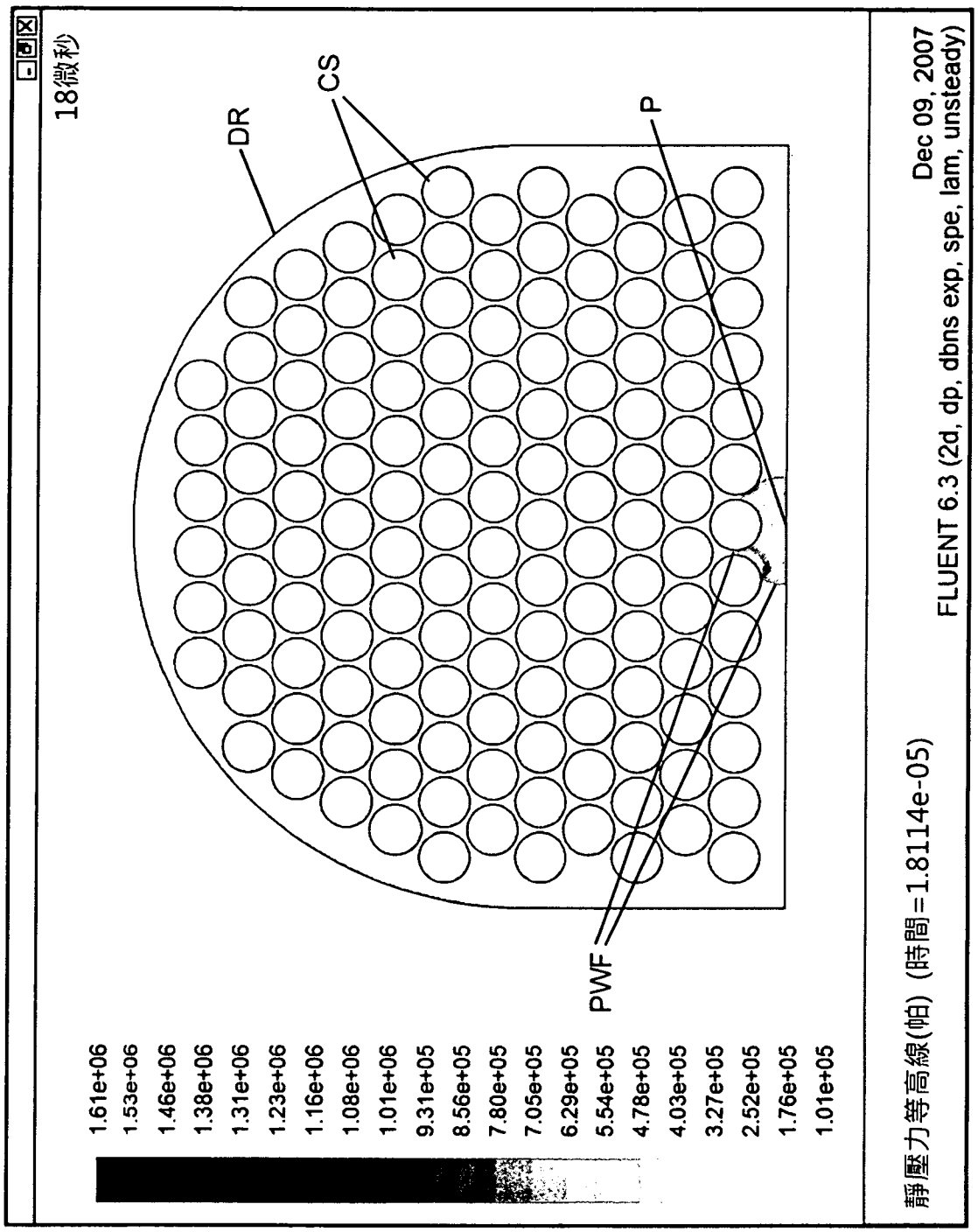
第4C圖


0微秒
DR
CS
P
1.00e+06
9.55e+05
9.10e+05
8.65e+05
8.20e+05
7.75e+05
7.30e+05
6.85e+05
6.40e+05
5.95e+05
5.50e+05
5.05e+05
4.60e+05
4.15e+05
3.70e+05
3.25e+05
2.80e+05
2.35e+05
1.90e+05
1.45e+05
1.00e+05
靜壓力等高線(帕) (時間=0.0000e-00)
Dec 09, 2007
FLUENT 6.3 (2d, dp, dbns exp, spe, lam, unsteady)

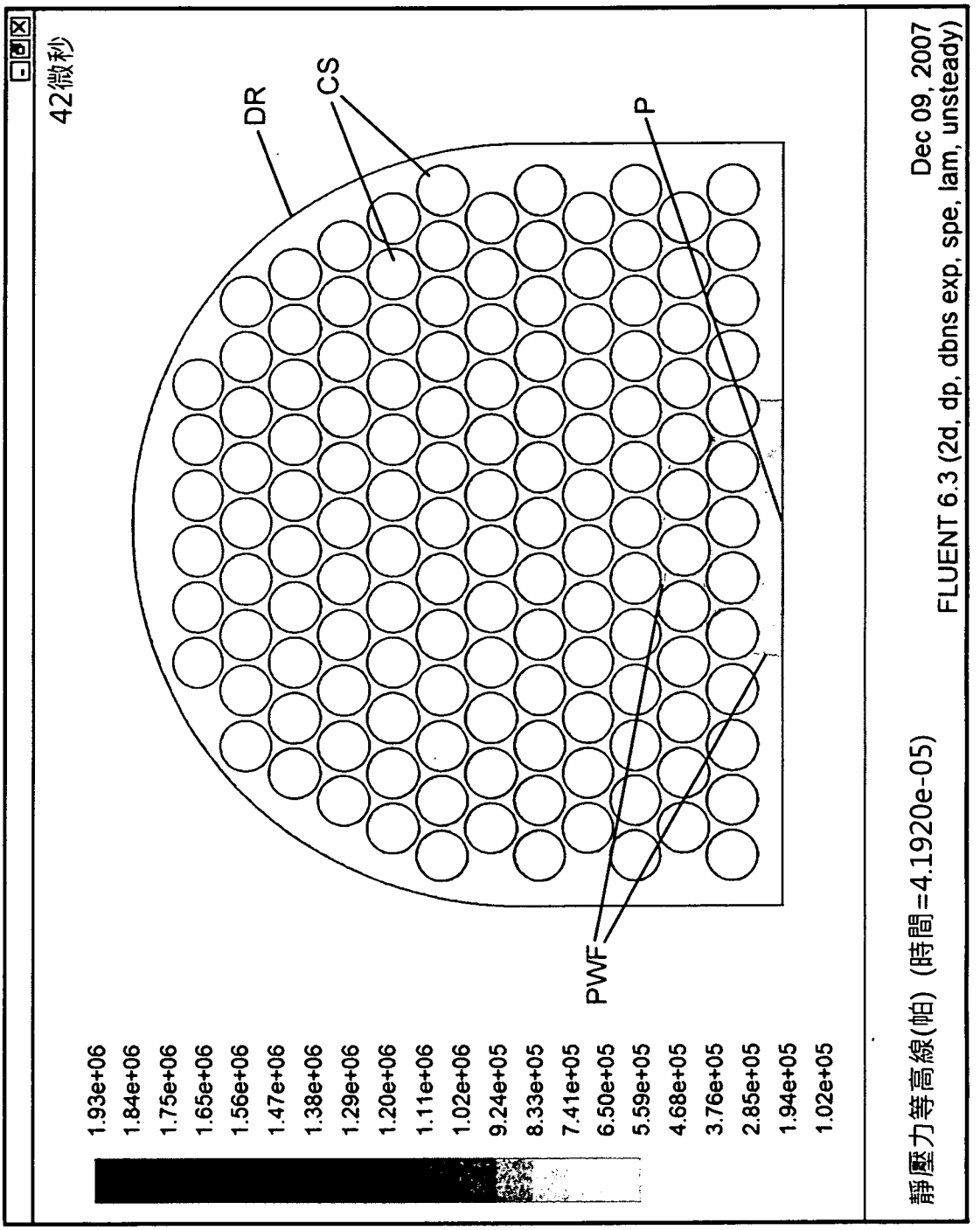
第5A圖


8微秒
DR
CS
P
PWF
6.94e+05
6.64e+05
6.34e+05
6.05e+05
5.75e+05
5.45e+05
5.16e+05
4.86e+05
4.56e+05
4.27e+05
3.97e+05
3.67e+05
3.38e+05
3.08e+05
2.78e+05
2.49e+05
2.19e+05
1.89e+05
1.60e+05
1.30e+05
1.00e+05
靜壓力等高線(帕) (時間=8.1752e-06)
Dec 09, 2007
FLUENT 6.3 (2d, dp, dbns exp, spe, lam, unsteady)

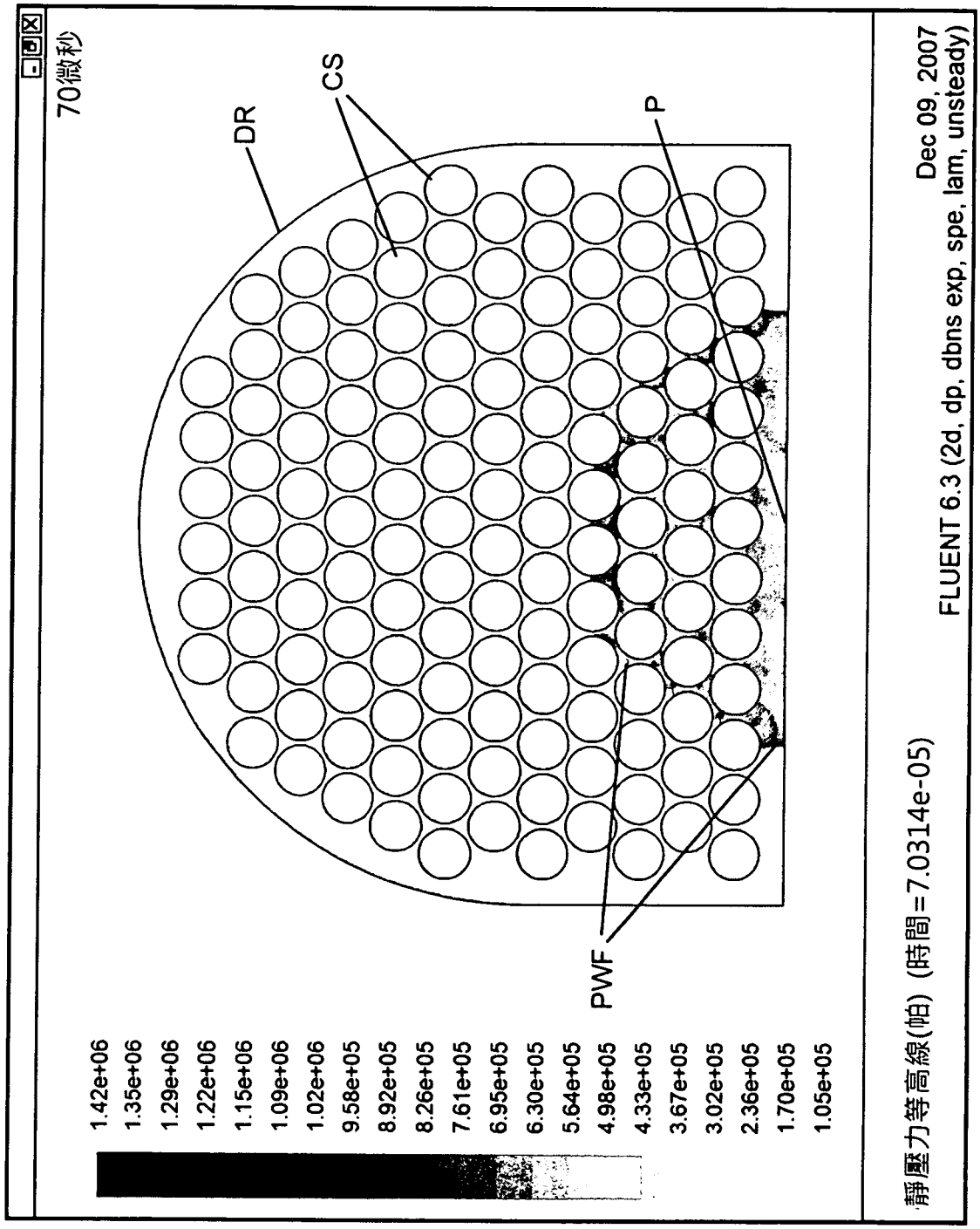
第5B圖


18微秒
DR
CS
P
PWF
1.61e+06
1.53e+06
1.46e+06
1.38e+06
1.31e+06
1.23e+06
1.16e+06
1.08e+06
1.01e+06
9.31e+05
8.56e+05
7.80e+05
7.05e+05
6.29e+05
5.54e+05
4.78e+05
4.03e+05
3.27e+05
2.52e+05
1.76e+05
1.01e+05
靜壓力等高線(帕) (時間=1.8114e-05)
Dec 09, 2007
FLUENT 6.3 (2d, dp, dbns exp, spe, lam, unsteady)

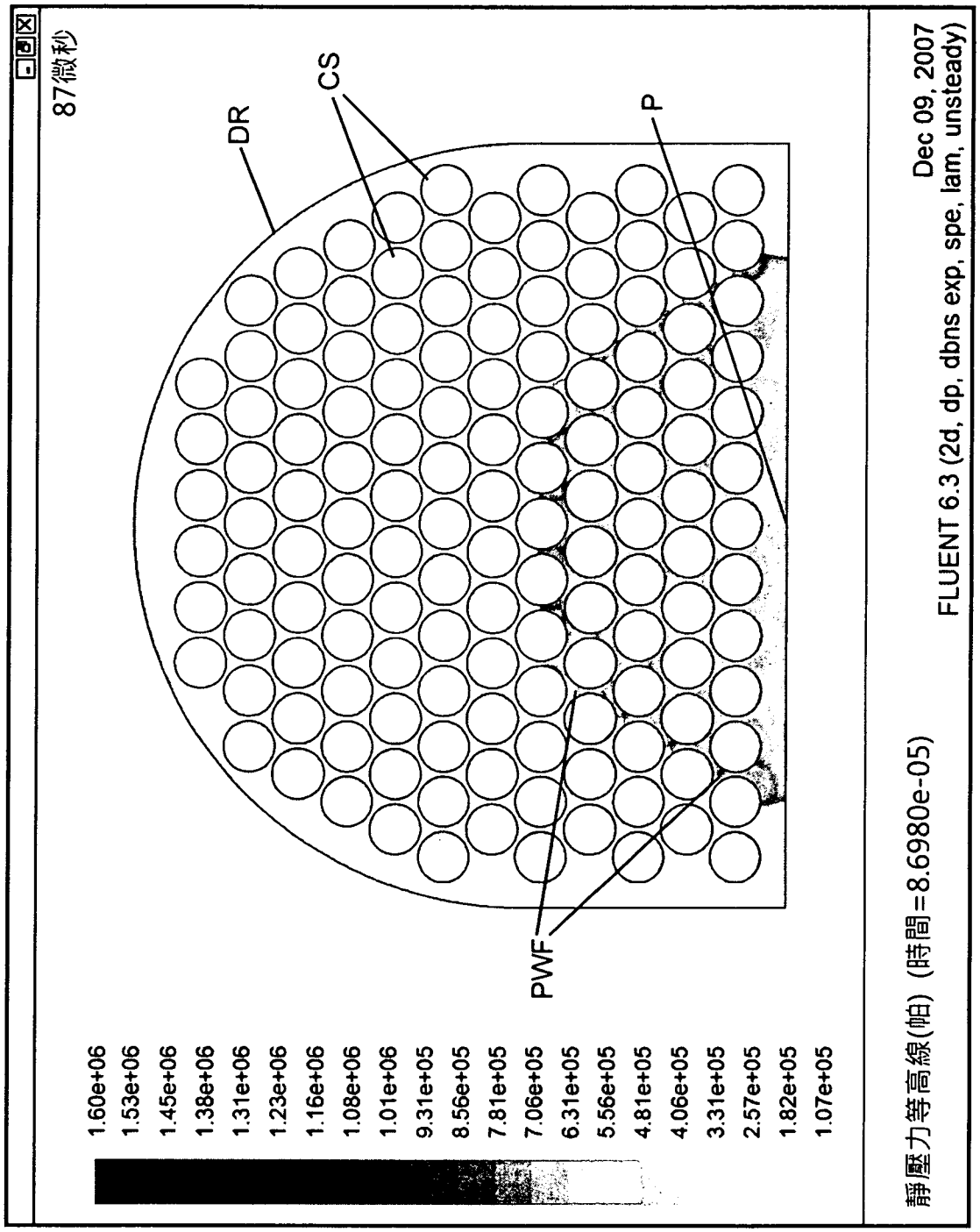
第5C圖


42微秒
DR
CS
P
PWF
1.93e+06
1.84e+06
1.75e+06
1.65e+06
1.56e+06
1.47e+06
1.38e+06
1.29e+06
1.20e+06
1.11e+06
1.02e+06
9.24e+05
8.33e+05
7.41e+05
6.50e+05
5.59e+05
4.68e+05
3.76e+05
2.85e+05
1.94e+05
1.02e+05
靜壓力等高線(帕) (時間=4.1920e-05)
FLUENT 6.3 (2d, dp, dbns exp, spe, lam, unsteady)
Dec 09, 2007

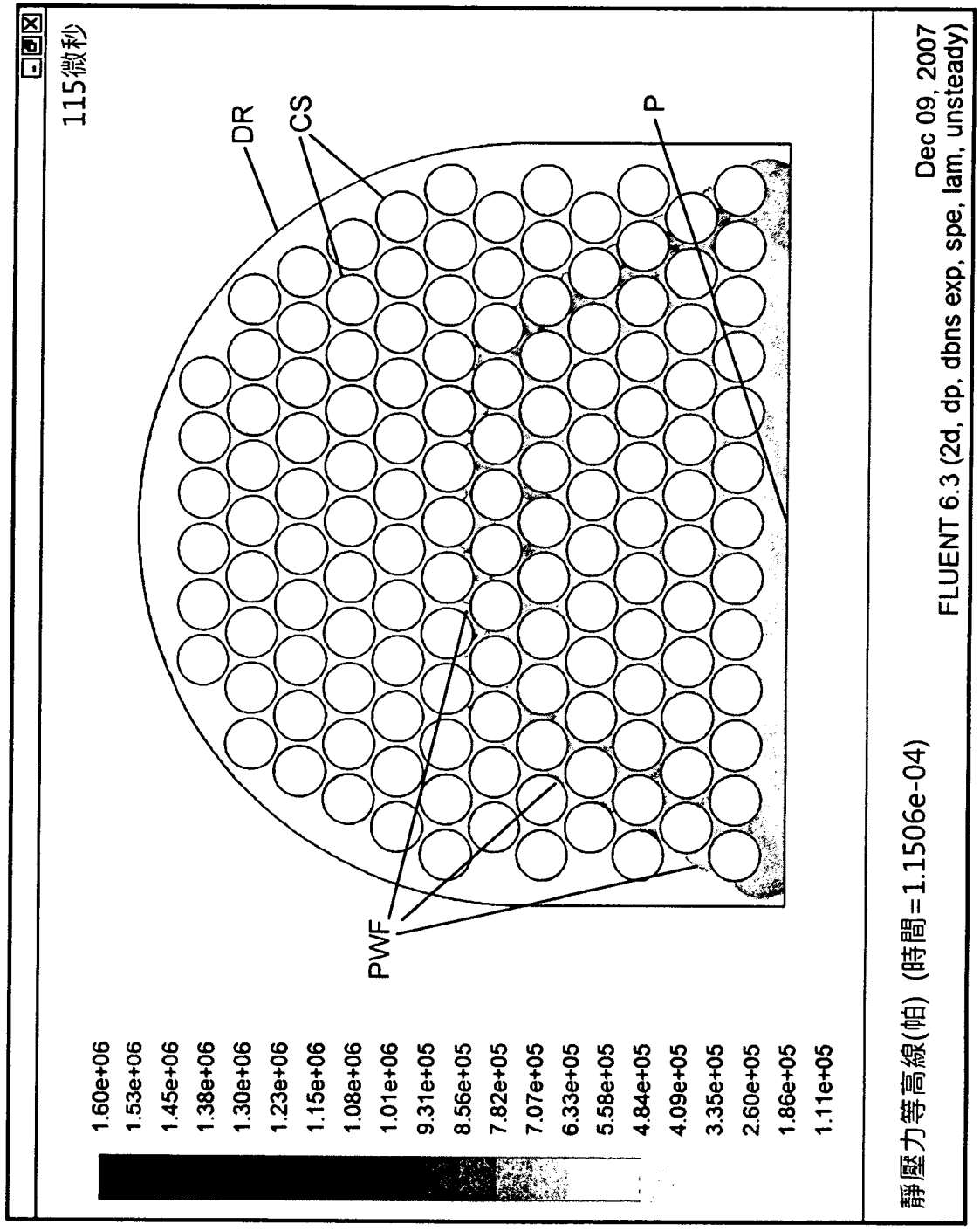
第5D圖


70微秒
DR
CS
P
PWF
1.42e+06
1.35e+06
1.29e+06
1.22e+06
1.15e+06
1.09e+06
1.02e+06
9.58e+05
8.92e+05
8.26e+05
7.61e+05
6.95e+05
6.30e+05
5.64e+05
4.98e+05
4.33e+05
3.67e+05
3.02e+05
2.36e+05
1.70e+05
1.05e+05
靜壓力等高線(帕) (時間=7.0314e-05)
FLUENT 6.3 (2d, dp, dbns exp, spe, lam, unsteady)
Dec 09, 2007

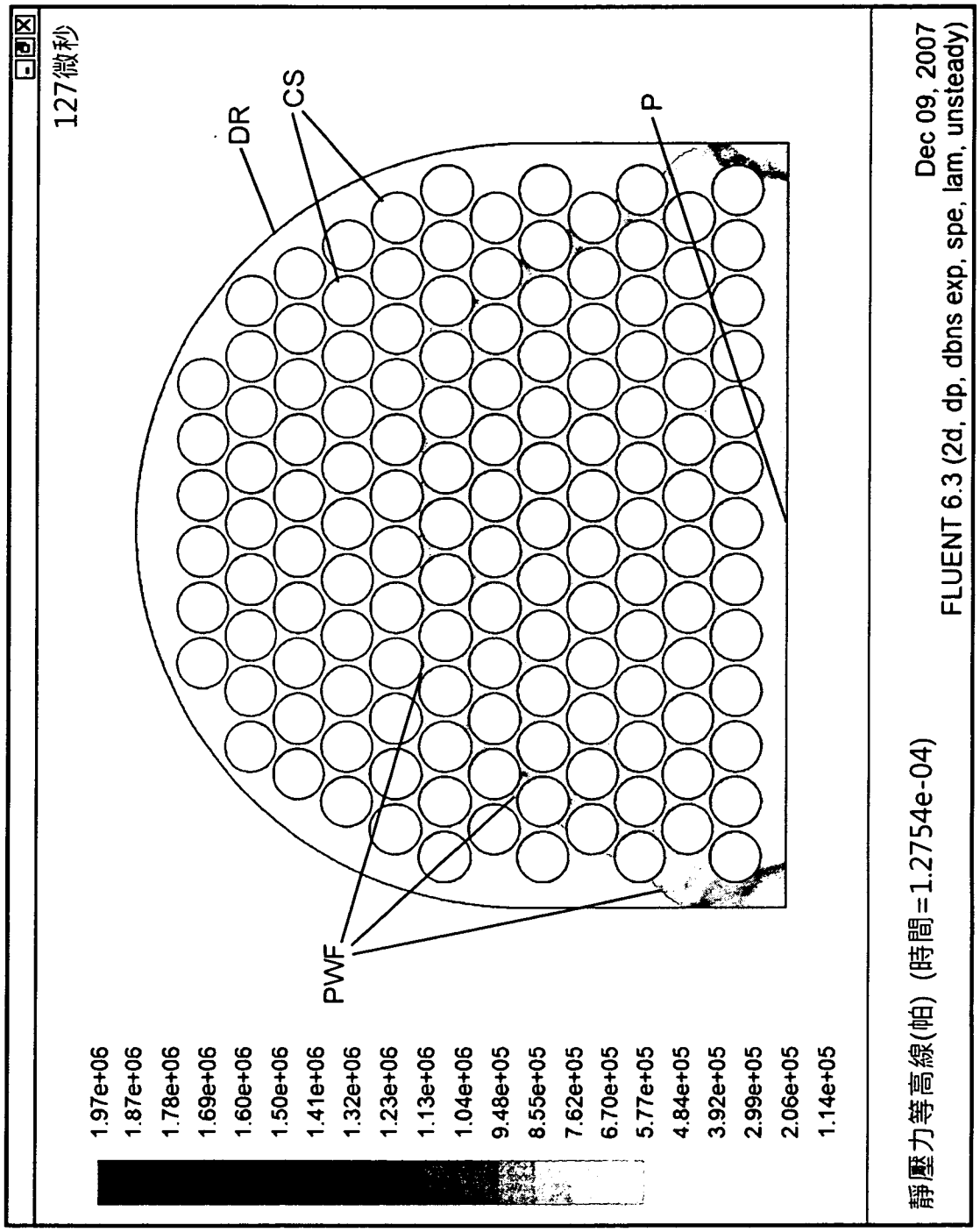
第5E圖


87微秒
DR
CS
P
PWF
1.60e+06
1.53e+06
1.45e+06
1.38e+06
1.31e+06
1.23e+06
1.16e+06
1.08e+06
1.01e+06
9.31e+05
8.56e+05
7.81e+05
7.06e+05
6.31e+05
5.56e+05
4.81e+05
4.06e+05
3.31e+05
2.57e+05
1.82e+05
1.07e+05
靜壓力等高線(帕) (時間=8.6980e-05)
Dec 09, 2007
FLUENT 6.3 (2d, dp, dbns exp, spe, lam, unsteady)

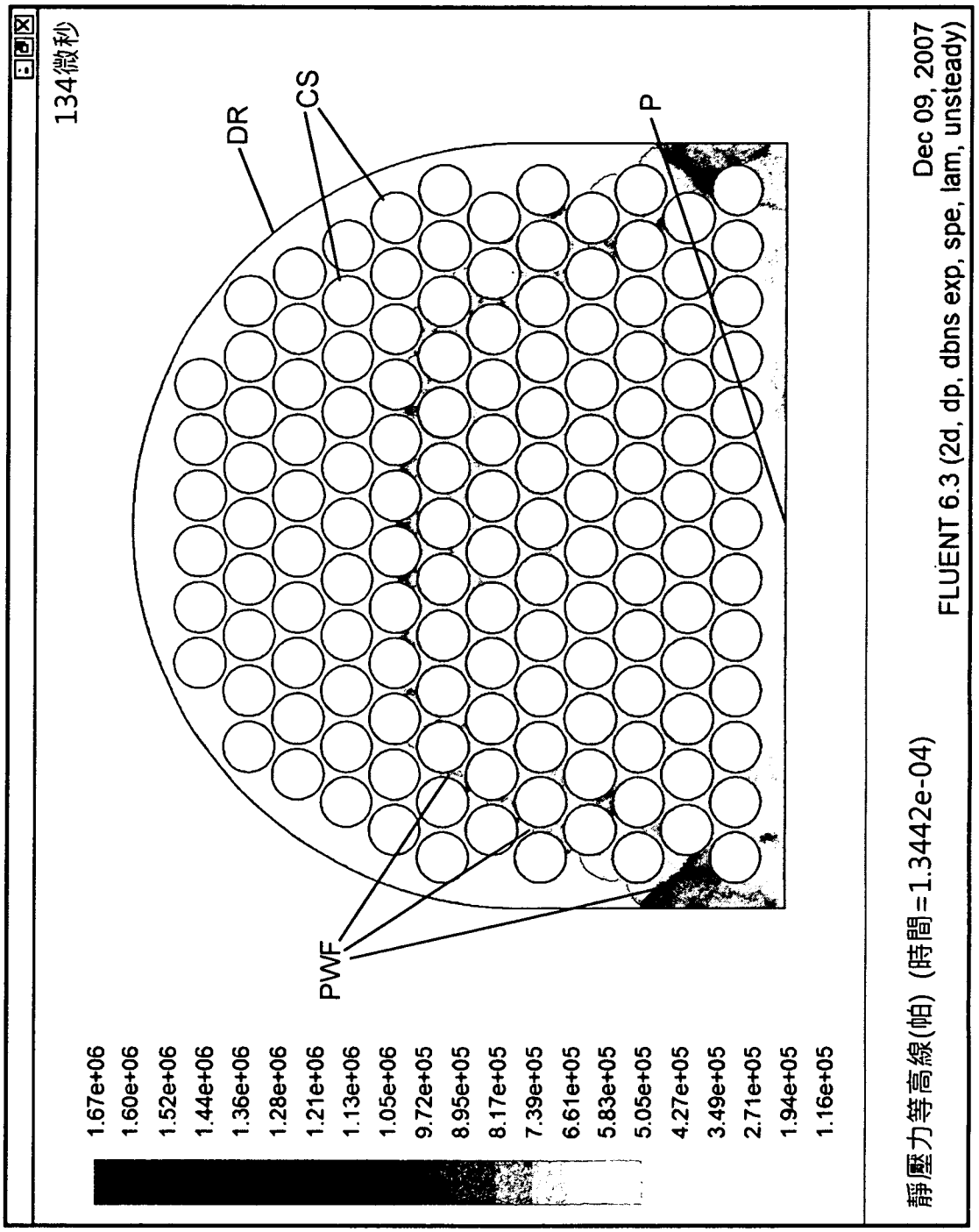
第5F圖


115微秒
DR
CS
P
PWF
1.60e+06
1.53e+06
1.45e+06
1.38e+06
1.30e+06
1.23e+06
1.15e+06
1.08e+06
1.01e+06
9.31e+05
8.56e+05
7.82e+05
7.07e+05
6.33e+05
5.58e+05
4.84e+05
4.09e+05
3.35e+05
2.60e+05
1.86e+05
1.11e+05
靜壓力等高線(帕) (時間=1.1506e-04)
Dec 09, 2007
FLUENT 6.3 (2d, dp, dbns exp, spe, lam, unsteady)

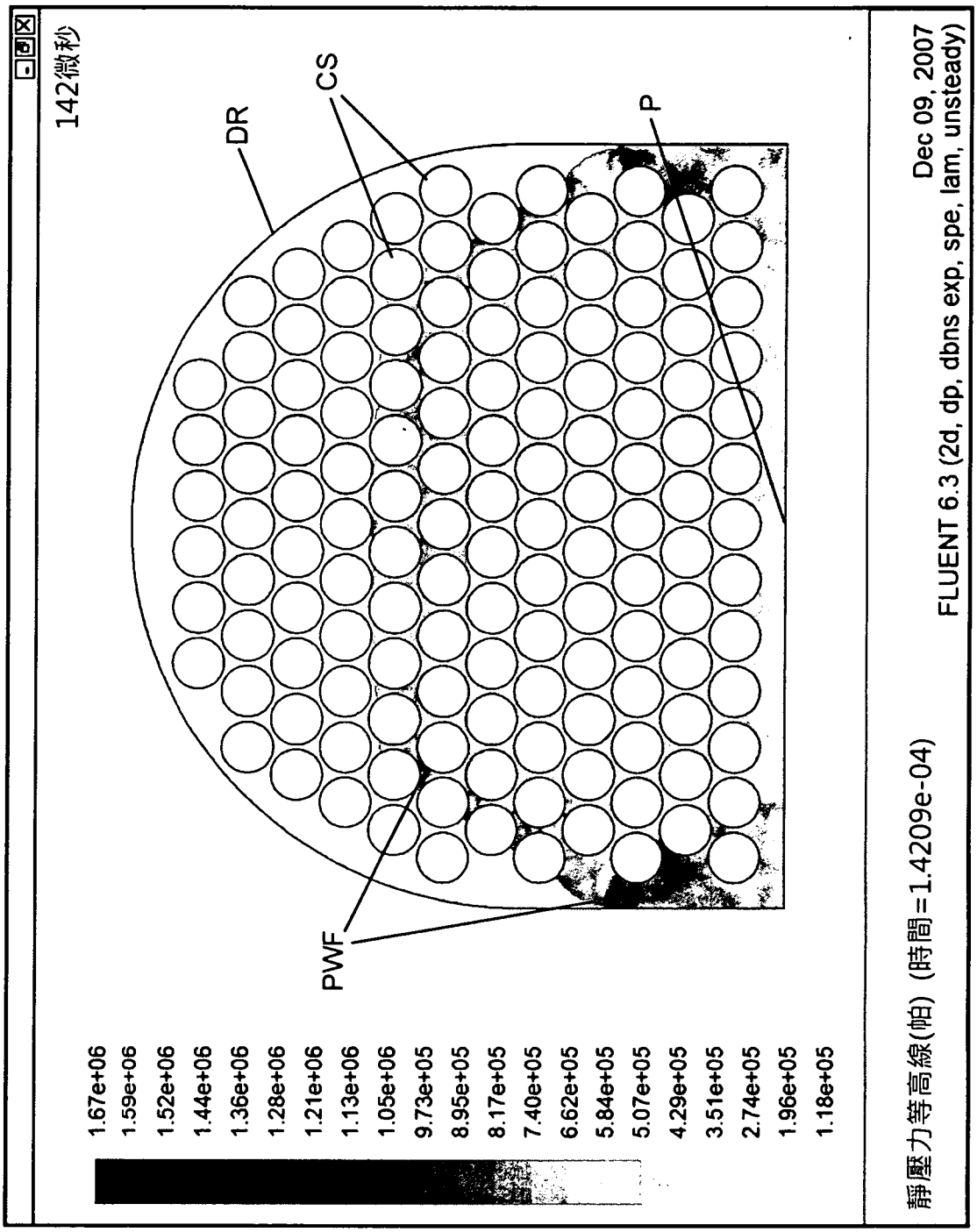
第5G圖


127微秒
DR
CS
P
PWF
1.97e+06
1.87e+06
1.78e+06
1.69e+06
1.60e+06
1.50e+06
1.41e+06
1.32e+06
1.23e+06
1.13e+06
1.04e+06
9.48e+05
8.55e+05
7.62e+05
6.70e+05
5.77e+05
4.84e+05
3.92e+05
2.99e+05
2.06e+05
1.14e+05
靜壓力等高線(帕) (時間=1.2754e-04)
Dec 09, 2007
FLUENT 6.3 (2d, dp, dbns exp, spe, lam, unsteady)

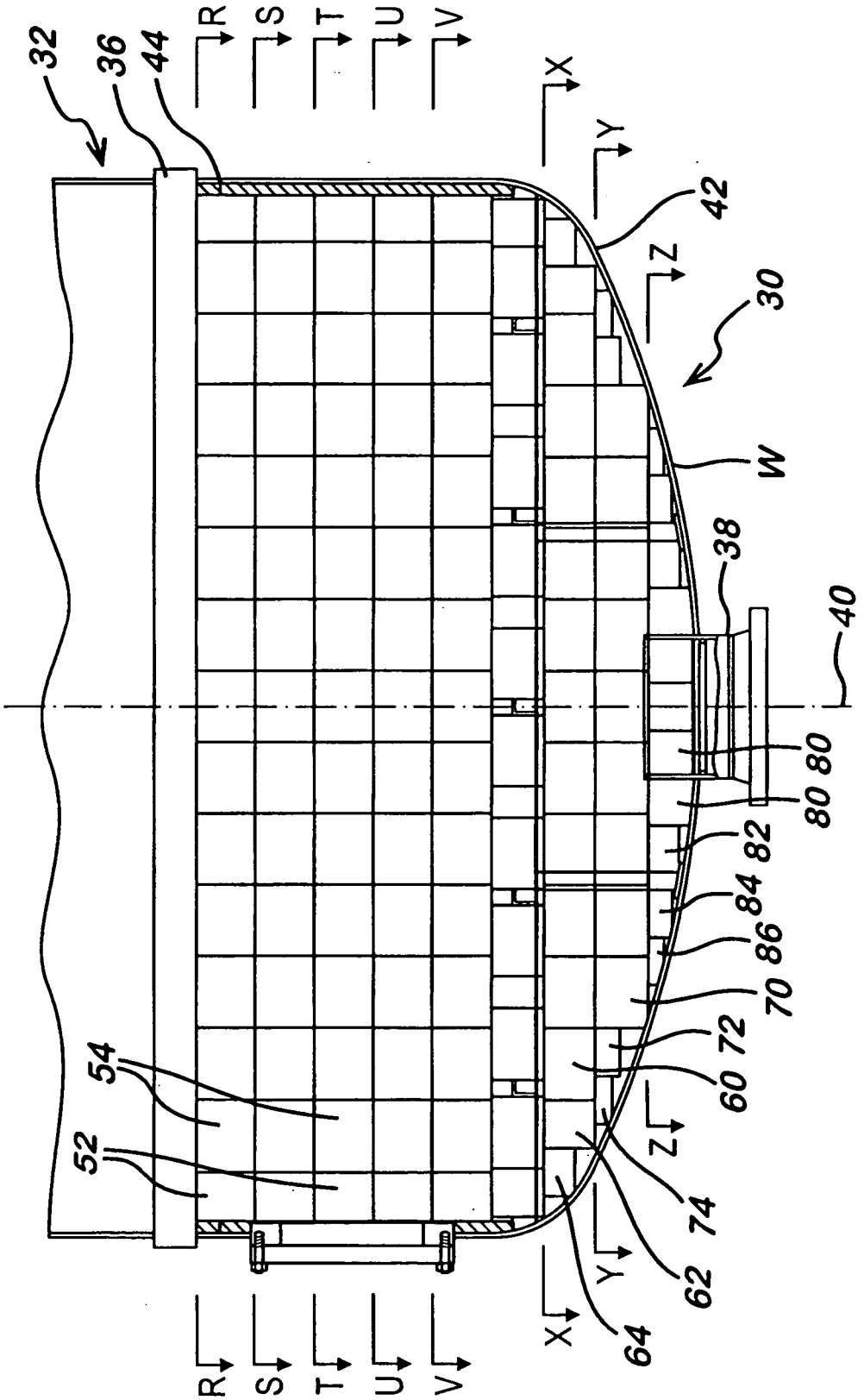
第5H圖


134微秒
DR
CS
P
PWF
1.67e+06
1.60e+06
1.52e+06
1.44e+06
1.36e+06
1.28e+06
1.21e+06
1.13e+06
1.05e+06
9.72e+05
8.95e+05
8.17e+05
7.39e+05
6.61e+05
5.83e+05
5.05e+05
4.27e+05
3.49e+05
2.71e+05
1.94e+05
1.16e+05
靜壓力等高線(帕) (時間=1.3442e-04)
Dec 09, 2007
FLUENT 6.3 (2d, dp, dbns exp, spe, lam, unsteady)

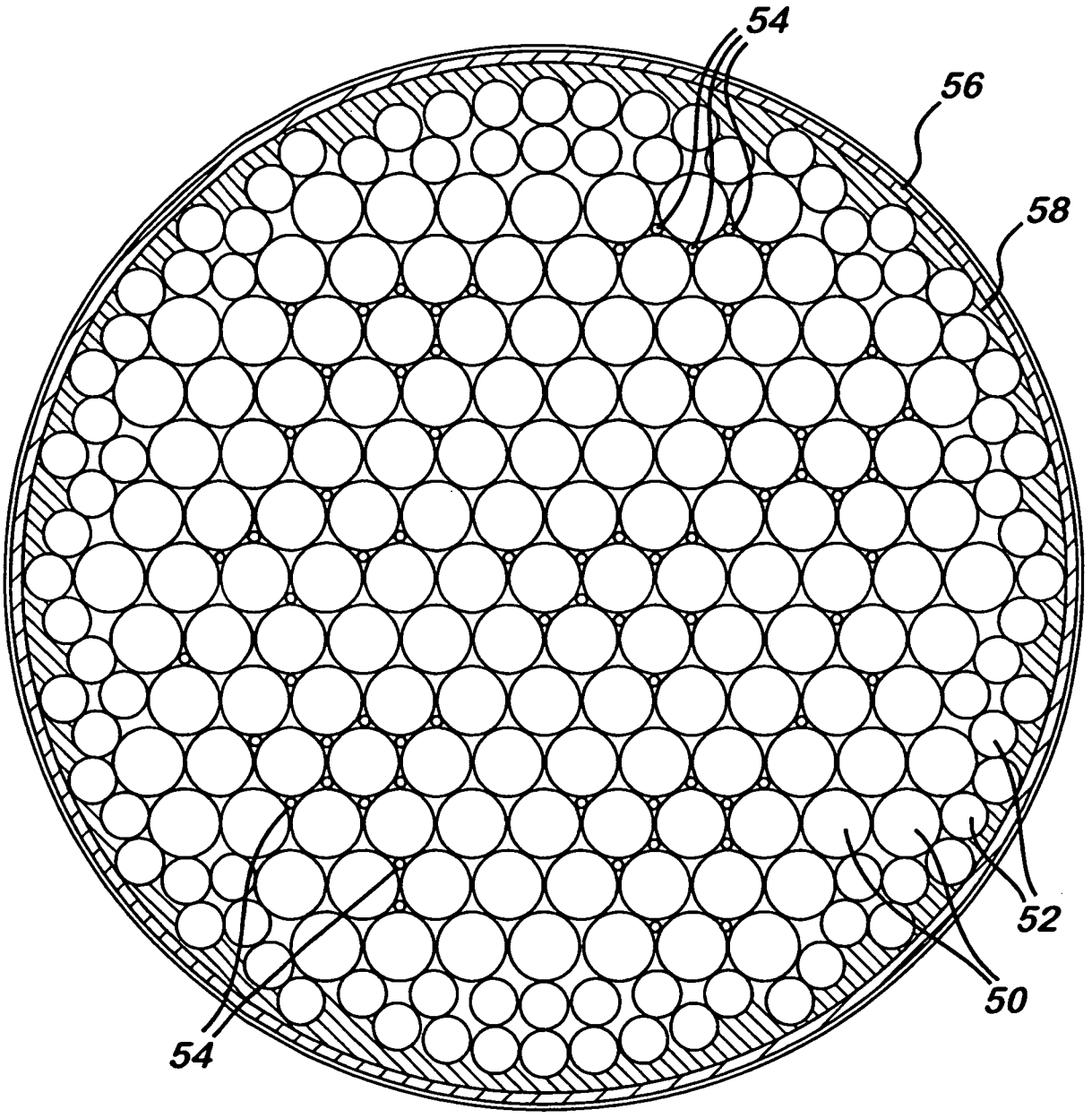
第51圖


142微秒
DR
CS
P
PWF
1.67e+06
1.59e+06
1.52e+06
1.44e+06
1.36e+06
1.28e+06
1.21e+06
1.13e+06
1.05e+06
9.73e+05
8.95e+05
8.17e+05
7.40e+05
6.62e+05
5.84e+05
5.07e+05
4.29e+05
3.51e+05
2.74e+05
1.96e+05
1.18e+05
靜壓力等高線(帕) (時間=1.4209e-04)
FLUENT 6.3 (2d, dp, dbns exp, spe, lam, unsteady)
Dec 09, 2007

第5J圖

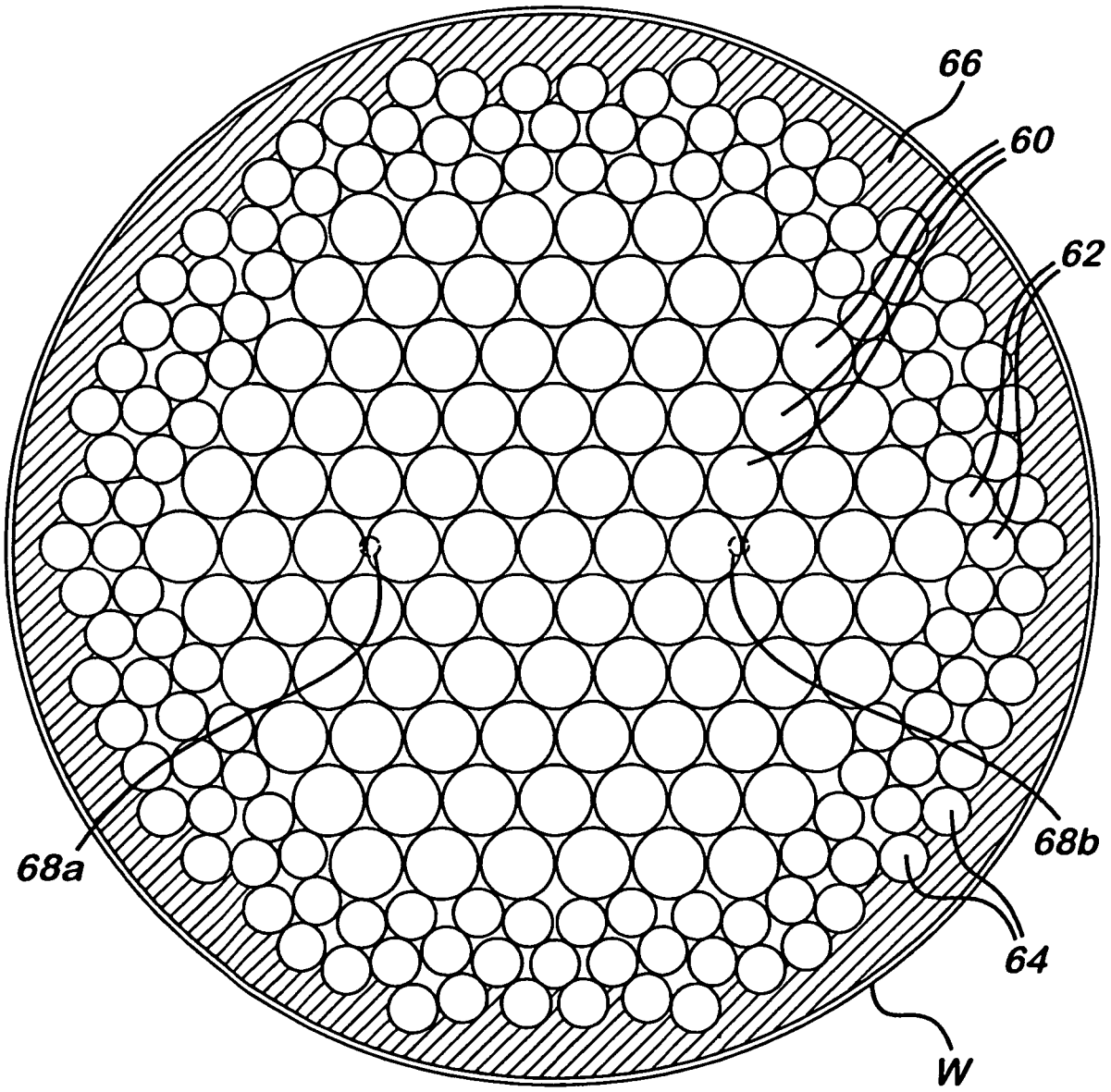


第6圖



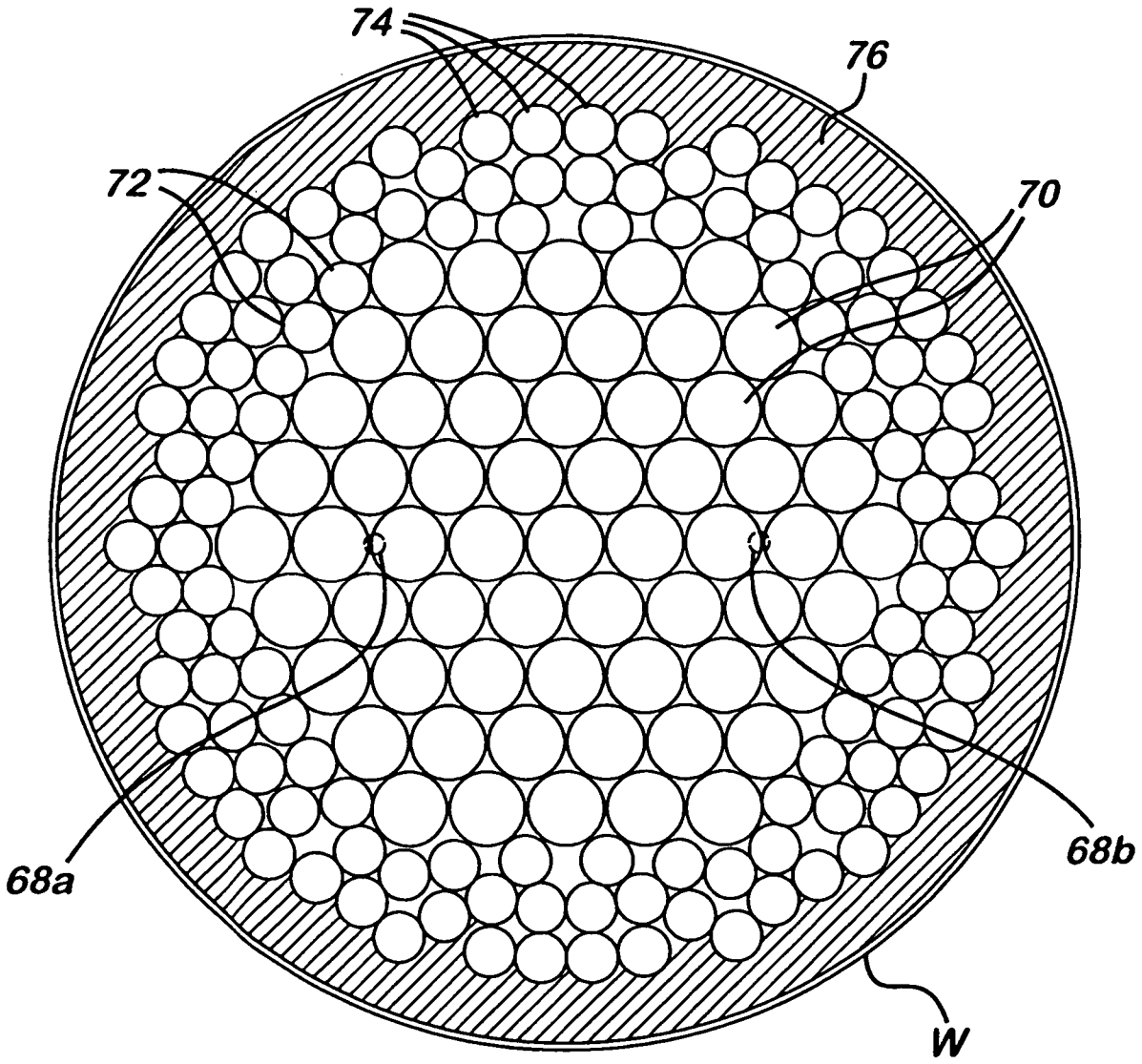
橫截面層R-R,
S-S,T-T,U-U及V-V

第7A圖



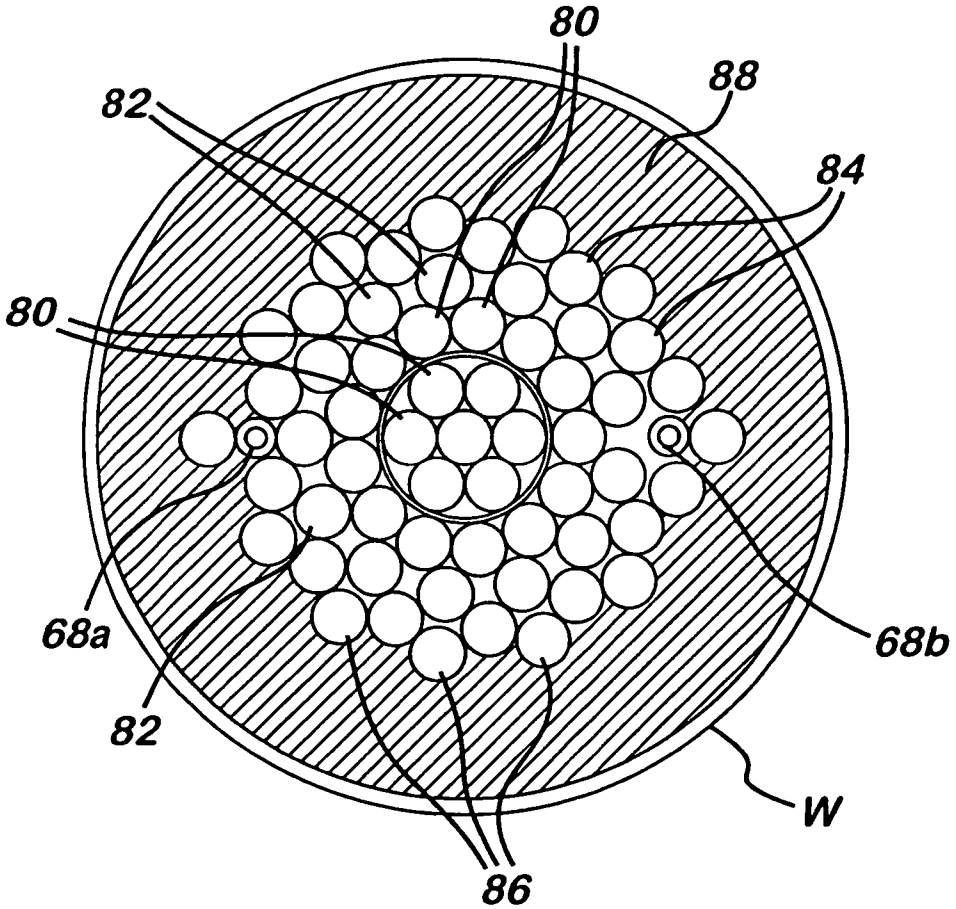
橫截面層X-X

第7B圖



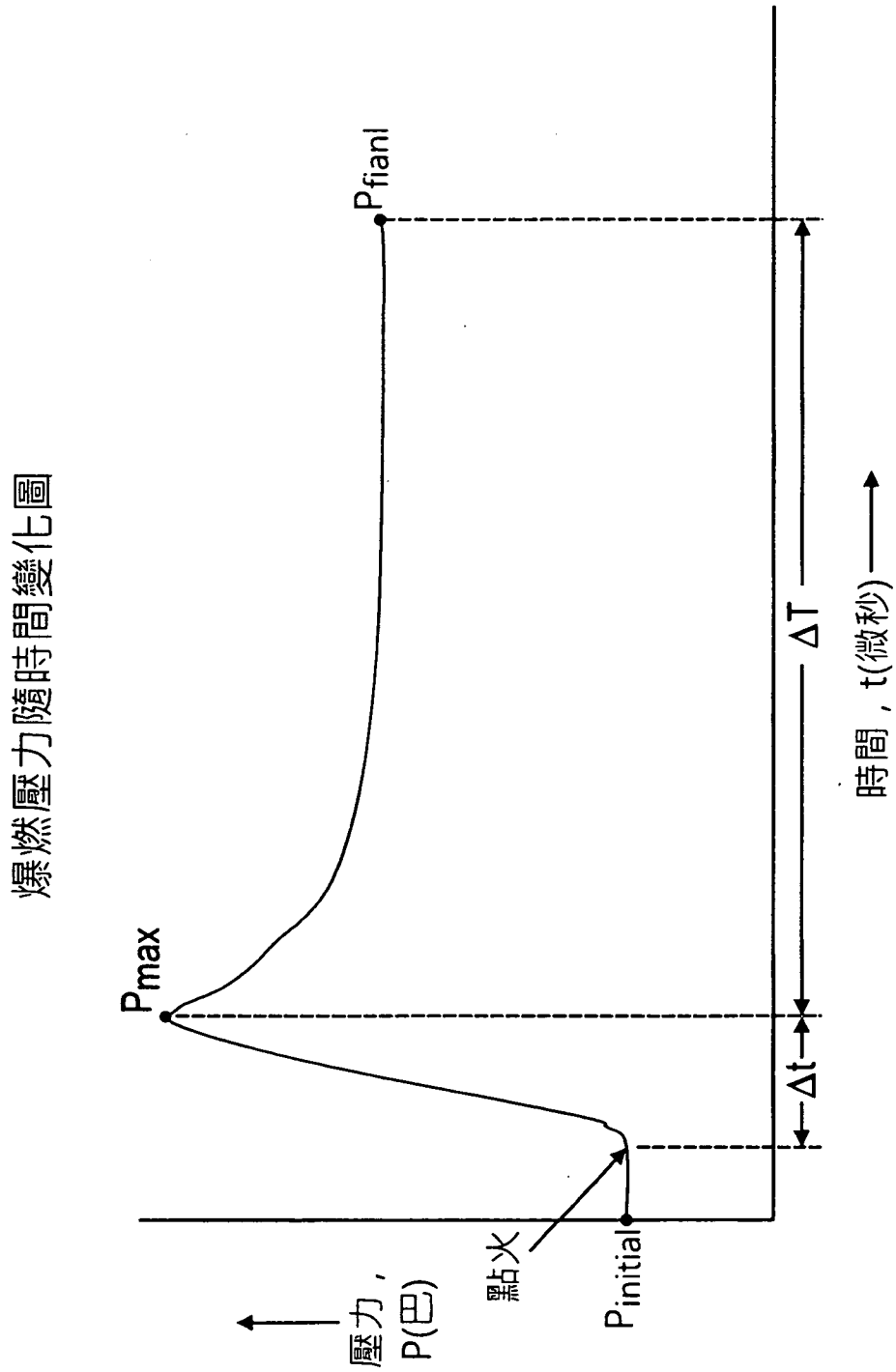
橫截面Y-Y

第7C圖

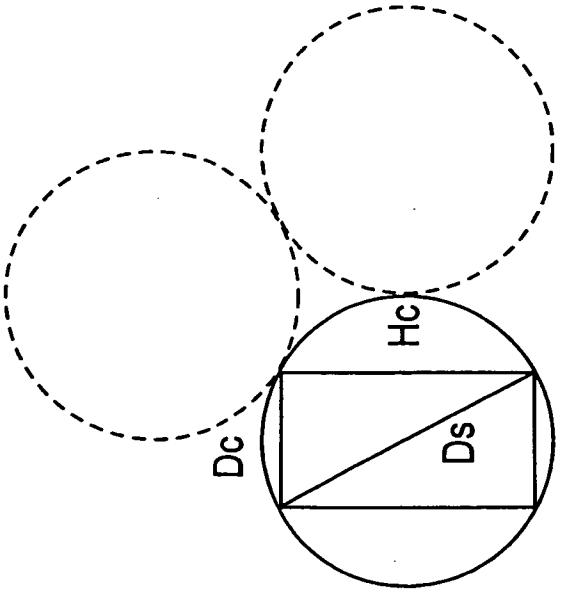


橫截面Z-Z

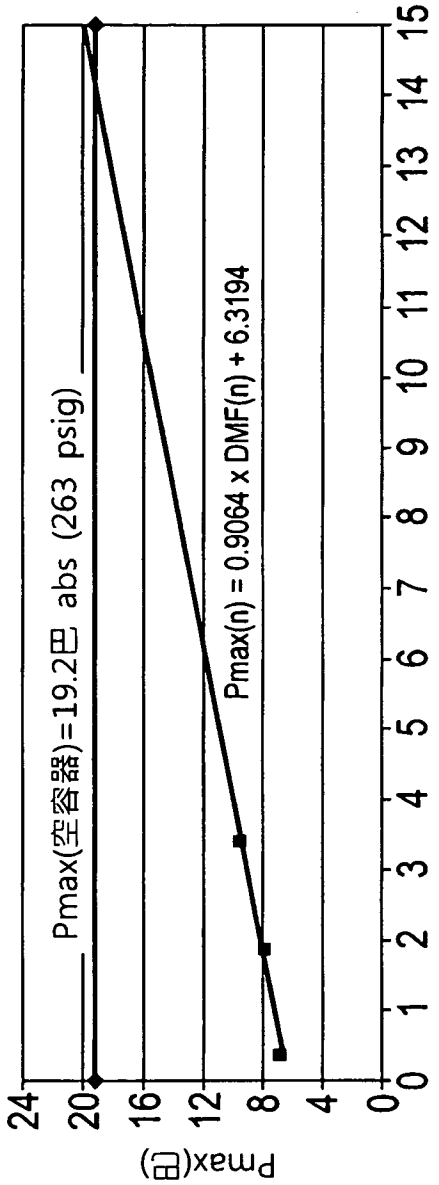
第7D圖



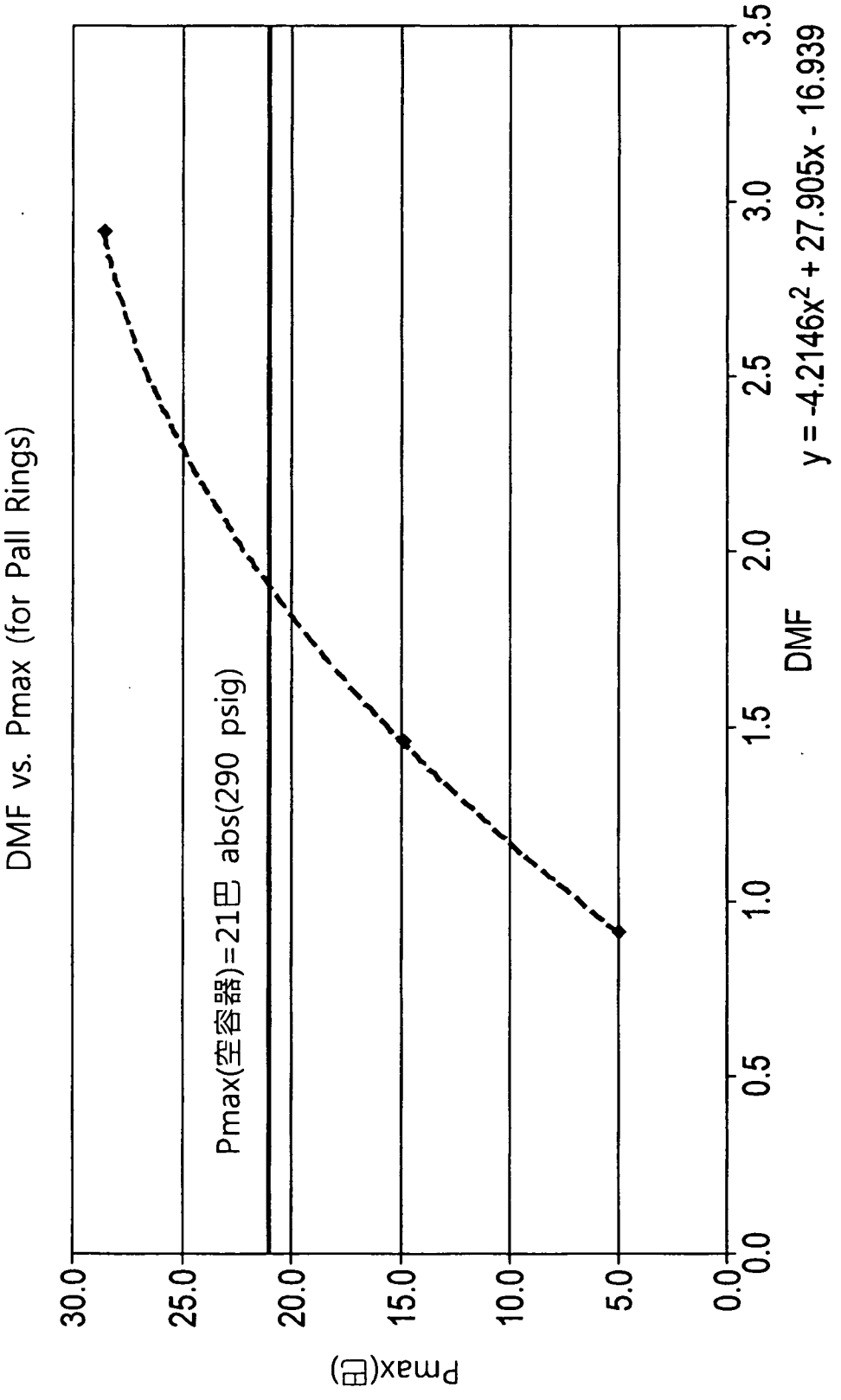
第8圖


Dc
Ds
Hc

第9圖


DMF vs. Pmax
Pmax(空容器)=19.2巴 abs (263 psig)
Pmax(n) = 0.9064 x DMF(n) + 6.3194
Pmax(巴)
DMF
0
4
8
12
16
20
24
0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15

第10圖


DMF vs. Pmax (for Pall Rings)
Pmax(空容器)=21巴 abs(290 psig)
Pmax(巴)
30.0
25.0
20.0
15.0
10.0
5.0
0.0
0.0
0.5
1.0
1.5
2.0
2.5
3.0
3.5
DMF
y = -4.2146x² + 27.905x - 16.939

第11圖