



(19)中華民國智慧財產局

(12)發明說明書公開本

(11)公開編號：TW 202111208 A

(43)公開日：中華民國 110 (2021) 年 03 月 16 日

(21)申請案號：109121361

(22)申請日：中華民國 109 (2020) 年 06 月 23 日

(51)Int. Cl. : **F03G7/04 (2006.01)**

(30)優先權：2019/06/27	美國	62/867,313
2020/01/25	美國	62/965,833
2020/04/21	美國	63/012,952

(71)申請人：加拿大商埃沃爾技術股份有限公司 (加拿大) EAVOR TECHNOLOGIES INC. (CA)
加拿大

(72)發明人：托威斯 馬修 TOEWS, MATTHEW (CA)；史瓦茲 巴里 SCHWARZ, BAILEY (CA)；瑞迪爾 德瑞克 RIDDELL, DEREK (CA)；卡倫斯 保羅 CAIRNS, PAUL (CA)；雷德芬 約翰 REDFERN, JOHN (CA)；科堤斯 史密斯 安德魯 CURTIS-SMITH, ANDREW (CA)；海爾 喬納森 HALE, JONATHAN (CA)；安德魯斯 彼得 ANDREWS, PETER (CA)

(74)代理人：劉法正；尹重君

申請實體審查：無 申請專利範圍項數：40 項 圖式數：52 共 103 頁

(54)名稱

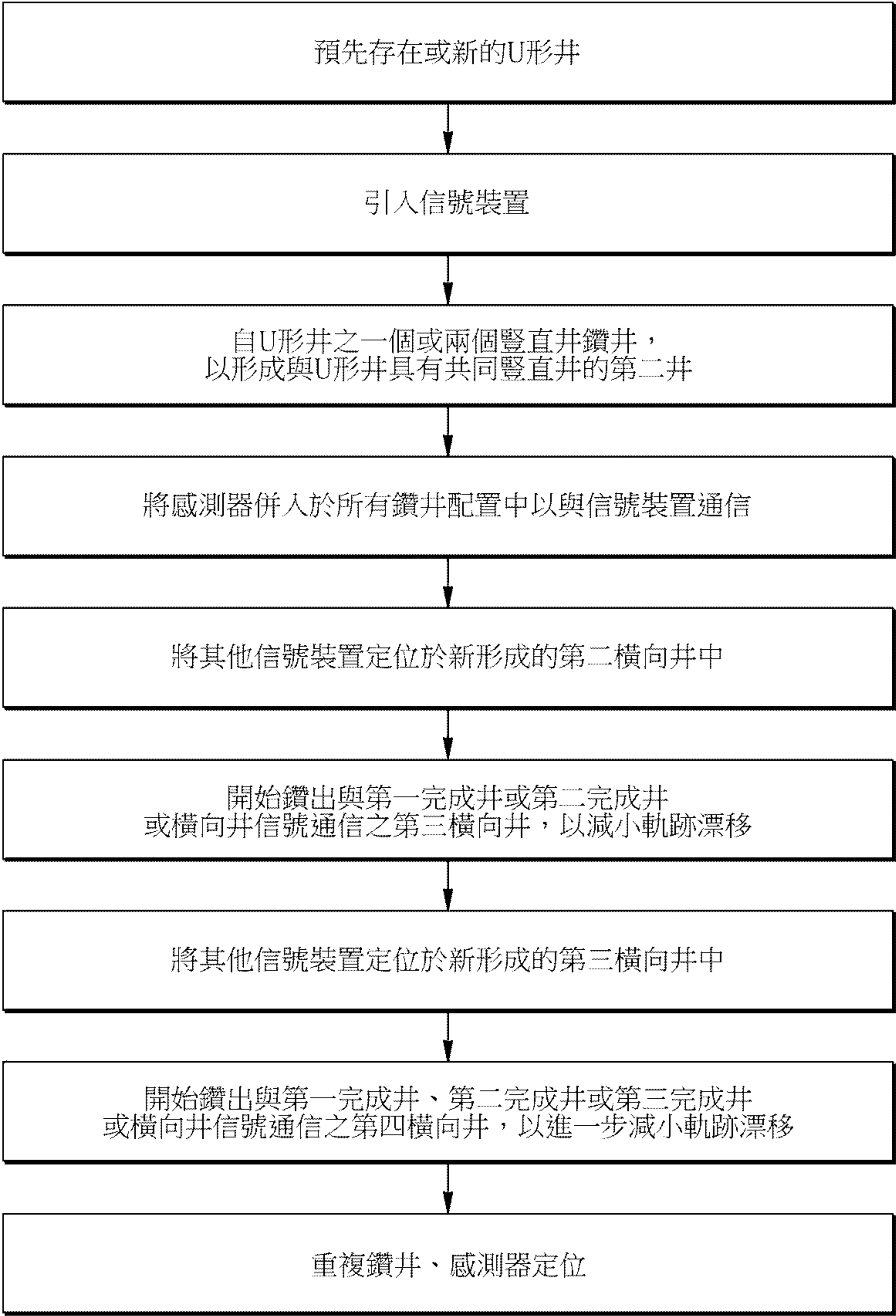
用於採集熱生產地層之操作程序組

(57)摘要

本發明揭示用於自一熱生產地層採收能量之操作程序組序列。以預定順序利用用於井地層的密封、鑽井、多方測距、電力生產及分配技術來採收能量，而與熱梯度變化、地層深度以及滲透率及其他異常或阻抗無關。

Operational protocol sequences for recovering energy from a thermally productive formation are disclosed. Sealing, drilling, multiranging, power production and distribution techniques in predetermined sequences for well formation are utilized to recover energy regardless of thermal gradient variation, formation depth and permeability and other anomalies or impedances.

指定代表圖：



【圖 35】



202111208

【發明摘要】

【中文發明名稱】

用於採集熱生產地層之操作程序組

【英文發明名稱】

OPERATIONAL PROTOCOL FOR HARVESTING A THERMALLY
PRODUCTIVE FORMATION

【中文】

本發明揭示用於自一熱生產地層採收能量之操作程序組序列。以預定順序利用用於井地層的密封、鑽井、多方測距、電力生產及分配技術來採收能量，而與熱梯度變化、地層深度以及滲透率及其他異常或阻抗無關。

【英文】

Operational protocol sequences for recovering energy from a thermally productive formation are disclosed. Sealing, drilling, multiranging, power production and distribution techniques in predetermined sequences for well formation are utilized to recover energy regardless of thermal gradient variation, formation depth and permeability and other anomalies or impedances.

【指定代表圖】 圖35

【代表圖之符號簡單說明】
(無)

【特徵化學式】
(無)

【發明說明書】

【中文發明名稱】

用於採集熱生產地層之操作程序組

【英文發明名稱】

OPERATIONAL PROTOCOL FOR HARVESTING A THERMALLY
PRODUCTIVE FORMATION

【技術領域】

【0001】 本發明係關於用於自熱生產地層採收能量之操作序列，且更特定言之，本發明係關於以預定序列使用新穎技術來採收能量，而不管熱梯度變化、地層深度以及滲透率及其他異常或阻抗。

【先前技術】

【0002】 在用於自熱生產地層採集或採收熱能之技術領域中，存在需要考慮之若干因素。在熱生產區域，地質參數在採收可能性中起著重要作用。地層可能為高溫地層，具有不規則/不連續/不一致之熱梯度、具有可變孔隙度之多種岩石類型、在許多其他地質異常中未固化之沙區。此等因素中之每一者需要單元操作或一系列單元操作，以緩解採收複雜性。

【0003】 當採收與地熱能採收合併，隨後轉化為熱或電時，會出現需要解決之進一步問題。在安置及機械組成以及多邊定向鑽井方面，井筒組配成為與熱採收效率相關之首要工程設計問題。

【0004】 在先前技術中，已經頒佈了許多技術來解決其中一些因素。

【0005】 Shulman在1996年5月14日頒發之美國專利第5,515,679號中教示在各種岩石類型中在較高溫度下的閉合迴路熱能採收配置，其中之一為固體岩石，其在Shulman之揭示中被區分出來：

「本發明係關於在閉合管迴路系統中使用液體循環之新穎方法及設備，藉

此提取(即開採)地下熱岩之熱能，並將其帶至地表進行利用。所述熱岩可能為固體、有裂縫或斷裂且為乾燥或潮濕的，但實質上無流動流體。藉由本發明，熱能自熱岩轉移至相對冷之液體中，該流體流於複數個在遠端分離之熱傳導管迴路中的一或多者中，該等熱傳導管迴路在地面處自歧管下降至熱岩，接著與立管底部接合在一起，受熱流體經由該立管返回至地面。」

【0006】 井筒組配不詳細論述熱採收導管之複雜模式或安置。該配置依賴於井筒組配中之管道經由用於自地層採收熱之配置進行流體輸送。

【0007】 Moe在2001年6月19日頒發之美國專利第6,247,313號中揭示一種井筒組配，其包括在地熱區內之複數個吸熱孔。本發明未談及套管或襯墊；然而，其限於利用斷裂區、吸熱孔之角安置彼此平行以及進一步之限制。教示特別指出：

「傾斜角之量值將取決於若干因素，例如岩石之溫度梯度、吸熱孔之長度及水流速率。計算角度將很好地在技術人員之能力範圍內，因此不在此處詳述。角度通常介於20°與50°之間，較佳為約40°。

此外，為了最大限度地自給定體積之岩石提取熱，至少相當一部分吸熱孔彼此平行地延伸。更佳地，吸熱孔配置在一層中，或若有必要，配置在複數個豎直隔開的層中。提供一系列豎直隔開的層，每一層具有複數個吸熱孔，允許增大發電廠之容量，而無需將孔展佈在更廣之範圍內。若可供開採之土方體積不大，此便相當重要。

供應孔**3**及回流孔**4**由四個吸熱孔**5**互連，每一孔之直徑為10 cm，長約2000 m。此等孔**5**之間間距可能為100-150 m。其自供應孔**3**開始鑽井，且在回流孔**4**處或附近終止。*已在此區域建立了斷裂區**6**，以提供孔**4**與**5**之間的流動連通，因為鑽出吸熱孔**5**時將難以直接命中回流孔**4**。*」

【0008】 該等教示還教示了入口及出口連接之困難，如所強調的。作為

一缺點，Moe配置未提供關於不受限制地訪問梯度之足夠教示，無論其異常情況如何，因此本發明僅限於特定情況。

【0009】 Brown在2003年12月30日頒發之美國專利第6,668,554號中教示在熱乾岩中形成裂縫之壓裂過程。超臨界二氧化碳用作工作流體，用於輸送自地熱層吸收之能量。在閉合迴路中無流體連通，其中入口井與出口井之間存在互連段，此處工作流體與地層隔離。在Brown之配置中，地層本身不加區別地與入口井及出口井連通。Brown教示之事實進一步表明此點：

「最後，藉由鑽出兩個或更多個生產井以使窄長儲層區域兩端附近之儲層相交，完成熱乾岩循環系統，該窄長儲層區域由微震事件位置之「雲端」界定，從而界定斷裂之熱乾岩儲層之形狀。所有井將適當地完成，在地麵包套，且接著清除鑽井流體及其他水性材料，再次使用氣態二氧化碳。」

【0010】 就此而言，識別出套管之使用，其作為井之相交，但並非如在閉合迴路中彼此相交，而是與地層內之人為儲層相交。

【0011】 轉至地熱/電生產領域，此領域已得到良好記錄。早期之實例之一可見於2012年7月12日公開的Vaughan等人的美國專利公開案20120174581。

【0012】 其他實例包括：美國專利公開案2007024572，Mickelson，2004年4月21日公開；McHargue，美國專利公開案201100480，2009年8月26日公開；及Lakic，美國專利第8,281,591號，2012年10月9日頒發。

【0013】 2019年4月16日頒發於Sonju的美國專利第10,260,778號揭示地熱發電廠。本專利中存在關於組配生產部分相對於同心入口/出口井配置處於特定安置之特定要求的一些教示。本發明不提供關於鑽井期間或鑽井之後井筒之調節指示，亦不提供互連段不受限制地開發熱生產區之可能方向。

【0014】 Muir等人在2020年1月7日頒發的美國專利第10,527,026號中教示閉合迴路熱採收配置，用於將熱量自井套管轉移至流體中。

本文指示：

「本文揭示之實施例係針對經由使用閉合迴路設計自非滲透地質資源產生電力之方法及設備，其中流體與閉合迴路井中之地層完全隔離，且熱量經由井套管轉移至流體中。」

「如上文背景部分所述，典型之熱液系統以及閉合迴路系統側重於自可滲透地質資源提取熱，此等地質資源自然地或藉由刺激而發生裂縫或孔隙。相比之下，本文揭示之實施例可有效地自低滲透率岩石(諸如塑性區之岩石)提取熱。包括高溫低滲透岩石之地質地層藉由使流體穿過資源，而不直接接觸流體及岩石，從而將熱直接自岩石經由井套管轉移至流體中，從而得到有利之利用。」

「接著，基於判定之溫度剖面及判定的地下地層的補熱剖面，可將閉合迴路地熱交換系統安置在地下地層內。閉合迴路地熱交換系統之佈位可包括鑽井、包套、穿孔、固井、有裂縫之未包套井壁之膨脹、密封未包套之井壁及與鑽井過程相關聯之其他步驟，及井迴路之佈位，如熟習此項技術者所瞭解。在一些實施例中，可包括將閉合迴路井系統之熱交換區安置在塑性區或地層之脆性-延性轉導區。在一些實施例中，佈位可包括或額外包括將閉合迴路井系統之熱交換區安置在地層之脆性區內，以及刺激接近熱交換區之脆性區。」

【0015】 本文提供了關於密封之一般教示，但包括套管在井筒組配之熱採收部分。文本指示：

「根據一些實施例，本文所述之地熱能生產方法可包括未用金屬管包套之井部分，相反，此等部分之壁可能為用硬化密封劑密封之地層岩石，及由此類硬化密封劑之邊界界定之此類部分的井壁，其在一些實施例中將導致此類部分的井直徑遠大於此類井之金屬包套部分。」

【0016】 參考文獻反映了Shulman之教示，且未提供關於井之相交、無套管及/或襯墊或井筒配置的熱採收區段的安置中的幾何變化以適應任何熱梯度模

式之指示。

【0017】 關於井筒組配及鑽井，已提出了許多參考文獻，此等參考文獻指向與多邊地層相關聯之多邊鑽井及軌跡問題。作為第一實例，Clark等人在2009年10月15日公開之美國專利公開第US2009/0255661號中教示一種藉由鑽井及對母井筒進行包套來鑽出多邊井之方法，該井為多邊接面。自多邊接面處鑽出第一橫向井，並進行包套。隨後，在鑽井時使用磁測距自多邊接面鑽出第二橫向井，使得第二橫向井相對於第一井有受控關係。該方法側重於石油工業，且因此並未就許多橫向油井描繪任何進一步細節。未具體解決軌跡偏差。

【0018】 在2018年11月1日公開的Donderici等人的美國專利公開案US2018/0313203中教示一種有效系統，其利用來自第一井之電磁及勘測量測來校準地層模型。接著，此用於改良對第二井之量測之解釋。該等方法指示使用相對方法。因此，即使每一井筒之確切位置可能無法準確識別，亦可準確識別其相對位置。此導致更佳地定位井對。

【0019】 在2016年9月22日公開的Donderici等人的美國專利公開案第2016/0273345號中，揭示用於磁測距及地質導向之方法及系統。在本發明中，第[0019]段指示：

「如本文所述，本發明描述利用磁偶極子信標引導一個井筒朝向另一井筒之說明性測距方法及系統。在一般實施例中，信標經由第一井筒將低頻磁場誘發地層中，接著由第二井筒中之一或多個偶極子(充當接收器)感測。信標及/或接收偶極子為磁偶極子，且在某些實施例中，一者或兩者可能為三軸磁偶極子。然而，在任一實施例中，自信標發出之磁場形成接近第一井筒之自然路徑。因此，可引導第二井筒與磁場方向對準，此將自動建立朝向第一井筒之理想接近。」

【0020】 該系統顯然可用於雙井系統以在鑽井期間維持一致性。

【0021】 在進一步之發展中，Yao等人在2017年5月4日頒發的美國公開

案第US 2017/0122099號中提供用於使用空間變換進行多個井下感測器數位校準之系統及方法。該配置併有多個感測器節點，此等節點傳達最終用於數學變換之資料，以確保井下鑽井之準確性。

【0022】 在2013年11月7日公開的PCT/US2012/036538中，揭示了用於最佳化水平井間距之系統及方法。該等方法及系統使用磁偶極子信標引導一個井筒朝向另一井筒。一個實施例包括用於將低頻磁場自第一井筒誘發地層中之信標。接著，在第二井筒中，一或多個偶極子會感測此等低頻磁場。信標及/或接收偶極子為磁偶極子，且本發明陳述，在一些實施例中，一者或兩者可能為三軸磁偶極子。信標發出之磁場形成通往第一井筒之自然路徑。因此，可引導第二井筒與磁場方向對準，從而建立朝向第一井筒之優選途徑。

【0023】 Rodney在2017年2月28日頒發之美國專利第9,581,718號中教示隨鑽測距系統，其具有鑽柱與磁源，該磁源誘發套管柱中的磁矩。磁源包括至少一個偶極子，其相對於鑽柱之縱軸具有非正交傾斜。提供三軸磁力計，用於偵測來自所誘發磁矩之場，且具有感測器，該感測器提供指示磁源之旋轉方向的信號。處理器根據感測器及三軸磁力計之量測判定套管柱之相對距離及方向。

【0024】 累計地，先前技術就自生產地層中採收熱能時遇到的具體問題提出了個性化建議。仍然需要操作程序組，其能夠統一地解決與以動態適應性採集熱採收相關聯之所有問題。最理想之解決方案為允許在具有不一致岩石類型、滲透率、在梯度內不連續的變化的熱梯度及/或多個地理分佈梯度、高溫、顯著深度等之複雜地層中進行適應性熱採收。

【0025】 本發明程序組包含新穎操作，以適應性地控制及利用可變地層條件連同配電方面來有效地自生產地層採集熱能。

【發明內容】

【0026】 本發明一個實施例之一個目標為提供自熱生產地層採集可採

收能量之適應性程序組，而不受具有挑戰性之地層特性限制。

【0027】 本發明一個實施例之另一態樣為提供一種用於自具有預定可用潛在熱容量之一地質地層採收能量之方法，其包含：

以一預定鑽井及密封序列，使用一破壞機構在該地層中鑽井，以在其中形成一主井筒，該主井筒在該井筒與該地層之間具有一實質上不可滲透之界面；

藉由電磁制導至少自該主井筒鑽出後續井筒；

選擇性地利用累積信號及來自鑽出之後續井筒之個別信號中之至少一者來指導鑽井，以在該地層內形成一預定井筒圖案；

經由一入口井及出口井將該等井筒之該預定圖案在該地層之熱區內以一閉合迴路配置鏈接至一能量採收配置，以在該等井與該裝置之間以一閉合迴路自該迴路配置採收能量，該閉合迴路配置在該地層之該可用潛在熱容量內具有一預定能量輸出；

使具有一預定組成之一流體組合物以一預定停留時間在該閉合迴路配置內循環，以形成一充能流體，及

經由該充能工作流體與該能量採收配置之間的相互作用，按需向一最終使用者產生能量。

【0028】 方便地，該定序鑽井操作密封任何(若存在)預先存在之裂隙、裂縫、裂紋或其他地質異常及由於鑽井而形成之任何裂隙、裂縫、裂紋或其他地質異常，以形成所述界面。

【0029】 該方法在地層溫度至少為50°C至高於400°C的地層中有效。

【0030】 根據程序組之適應性性質，在鑽井操作期間可選擇性地修改特定單元操作。此等包括：(i) 鑽進速率；ii) 用活性冷卻劑對鑽面之預調節；iii) 鑽井破壞機制選擇；iv) 所選井筒之間的電磁通信；v) 該等井筒之鑽井方向；vi) 閉合迴路配置之聯網；vii) 閉合迴路配置之接近度；viii) 循環流體組成、流動方向、

停留時間、流速；viv) 組成上不同的循環流體之流動循環；x) 循環的組成上不同的循環流體之停留時間；及xi) i)至x)以任何數目及順序之組合。

【0031】 鑒於給定地層內之某些區域可能存在任何數目個不規則現象，該方法允許基於地層岩石孔隙度、地層岩石類型、地層溫度、鑽井深度、地質地層、地層中之斷層、地質異常及在實踐該方法時遇到的一群變化中的每一者或至少一些來選擇修改。

【0032】 為了在某些情況下之效率，可併入複數個閉合迴路配置，以採收可用潛在熱容量。閉合迴路可以預定圖案與閉合迴路配置之分立預定圖案鏈接。作為實例，閉合迴路配置之分立預定圖案之鏈接可能在局部網路、分散網路中、與鄰近閉合迴路配置熱接觸之嵌套群組中之至少一者及其組合中。

【0033】 為了進一步適應性，閉合迴路配置可藉由一個閉合迴路配置之入口井與接近閉合迴路配置之出口井。

【0034】 在技術之電生產態樣，可以預定停留時間使工作流體在閉合迴路配置迴路中循環，以經由來自該地層之傳導來熱加載循環流體。作為特定優勢，可基於使用者之能量需求改變熱加載流體在該迴路內之流速。

【0035】 根據使用者需求，循環流體可用來自定位在地層中之相鄰閉合迴路配置的充能流體來補充。

【0036】 該方法允許經由電力生產設備中之流體的熱排放而送到最終使用者的按需遞送，該按需遞送暫時超過所述預定能量輸出，同時在預定時間範圍內維持所遞送能量輸出平均值等於可用潛在熱容量。

【0037】 若需要，具有一入口井、一出口井及其間的用於流體連通之一互連區段的該閉合迴路配置可使該互連區段被包套、不包套、加襯、化學處理、化學密封、熱密封，包括呈一連續或不連續組配之單管、同軸管及其組合。如上所述，此種靈活性緩解地層挑戰。

【0038】 本發明之一個實施例之另一目標係提供一種用於最佳化一預先存在之電網上的配電之方法，其包含：

在該預先存在之電網上提供具有一設計最大發電量及一第二有效發電量之一間歇性發電配置；

在鄰近該間歇性發電配置之一載熱地質地層內定位一能量採收及生產閉合迴路，該迴路包括一入口井、一出口井、在該入口井與該出口井之間的互連區段，該互連區段定位於該地層中以促進該地層中之熱採收，該地層具有一可用潛在熱容量，該閉合迴路係根據如請求項1之方法而形成；

將該閉合迴路以一組態定位在該地層內以自該可用潛在熱容量產生一預定能量輸出；

使一工作流體以一預定停留時間在該迴路內循環，以經由來自該地層之傳導對循環之工作流體進行充熱；及

經由該間歇性發電配置選擇性地排放該工作流體，以將發電量增大至高於該第二有效發電量且低於該設計最大發電量之一量，從而使用該預先存在之電網最佳化總發電量。

【0039】 本發明之一個實施例的另一目標係提供一種能量採集場，其包含：

在一熱生產地質地層內之一能量採收及生產閉合迴路系統，其利用一工作流體來採收熱能；

一間歇性發電配置，其在一預先存在之電網上具有一設計最大發電量及一第二有效發電量；

一能量處理裝置，其用於處理可操作地連接至該閉合迴路系統之一採收熱能；及

一分配控制系統，其用於經由該間歇性發電配置選擇性地熱排放該工作流

體，以將發電量增大至高於該第二有效發電量且低於該設計最大發電量之一量，從而使用該預先存在之電網最佳化總發電量。

【0040】 為了便於設計，閉合迴路系統可包括複數個閉合迴路，該複數個閉合迴路具有以下各者中之至少一者：共置之入口井、共置之出口井、一共同入口井、一共同出口井、共同地連接至一各別閉合迴路之一出口井及一入口井的多個橫向互連井、豎直堆疊之閉合迴路、一第一閉合迴路之一出口井連接至一第二閉合迴路之一入口井的閉合迴路、相鄰閉合迴路系統之相互交叉的多個橫向互連井，及其組合。

【0041】 該間歇性發電配置可包括一太陽能採收配置、一風能採收配置、一電池能量配置中之至少一者及其組合。

【0042】 本發明之一個實施例之又一目標係提供一種能量採集場，其包含：

在一熱生產地質地層內之一能量採收及生產閉合迴路系統，其利用一工作流體來採收熱能，該地層具有一可用潛在熱容量；

一預先存在之電網；

一能量處理裝置，其用於處理可操作地連接至該閉合迴路系統的所採收熱能；

一分配控制系統，其用於經由該能量處理裝置選擇性地熱排放該工作流體；

一遞送系統，其用於促進經由該能量處理裝置中之該流體之熱排放而送到一最終使用者的按需能量遞送，該按需能量遞送暫時超過該地層之一預定能量輸出，同時維持所遞送之一能量輸出平均值在一預定時間範圍內等於該可用潛在熱容量。

【0043】 該分配控制系統及該遞送系統中之至少一者可操作地連接至複數個能量採收及生產閉合迴路系統。

【0044】 最後，對於農場網路，一個中央傳輸樞紐可操作地連接至複數個分立之能量採集場，以在該等場之間重定向可遞送之能量。

【0045】 當採集熱能之操作程序組與電場態樣集成時，結果為一種高效的熱採收技術封裝，其完全可擴展，以使用預先存在之電網適應電力使用者之需求，而無需額外之佔用空間及基礎設施要求，從而超越習知配電。

【圖式簡單說明】

【0046】 圖1為濾液體積隨各種流體調配物之時間平方根而變的圖形表示；

【0047】 圖2為隨實例1中描繪之化學密封芯驅替測試之時間而變的壓差及滲透率資料之圖形表示；

【0048】 圖3為說明在入口井與出口井之間的橫向截面中密封的無套管井之示意性橫橫截面圖；

【0049】 圖4為類似於圖3之視圖，其說明橫向區段中之套管柱段及其與密封劑之關係；

【0050】 圖5為類似於圖4之視圖，其說明在具有裂隙的滲透率可忽略不計的地層中之密封井筒配置；

【0051】 圖6為橫向互連井段之多邊配置之示意圖；

【0052】 圖7為圖6中引用之密封多邊井筒區段之放大示意圖；

【0053】 圖8為替代地熱井組配之示意圖；

【0054】 圖9為地熱井組配之另一替代實施例的示意圖；

【0055】 圖10為地熱井組配之另一替代實施例的示意圖；

【0056】 圖11為地熱井組配之另一替代實施例的示意圖；

【0057】 圖12為地熱井組配之另一替代實施例的示意圖；

【0058】 圖13為圖12之頂視圖；

【0059】 圖14為地熱井組配之另一替代實施例的示意圖；

【0060】 圖15為地熱井組配之另一替代實施例的示意圖；

【0061】 圖16為高滲透率地層中鑽出的井孔之剖視圖，其說明未反應之密封劑之保留；

【0062】 圖17為類似於圖16之視圖，其說明在與工作流體循環接觸之後井筒界面之轉變；

【0063】 圖18為處於低滲透率地層及與周圍地層之界面中的所鑽井筒之示意性橫截面說明；

【0064】 圖19為地熱井筒方法之電力循環實施之示意圖；

【0065】 圖20及圖21為圖19之替代實施例之示意圖；

【0066】 圖22為整合式地熱迴路之示意圖，其併有由地熱工作流體直接驅動之渦輪及發電機；

【0067】 圖23為圖22之替代實施例之示意圖。

【0068】 圖24為不同工作流體在距離上之溫度資料之圖形表示；

【0069】 圖25為W形或菊鏈地熱井組配之示意圖；

【0070】 圖25A為圖25之互連井地層之放大圖；

【0071】 圖26為圖25之替代實施例之示意圖；

【0072】 圖27為圖25之替代實施例之示意圖；

【0073】 圖28為圖25之替代實施例之示意圖；

【0074】 圖29為說明典型之鑽井操作、流體流動及熱傳遞之表示；

【0075】 圖30為沿著井長之水及本文揭示之基於PCM的鑽井流體之系統溫度的圖形表示；

【0076】 圖31為在破壞岩石之前冷卻岩石表面以減弱用於預處理之機械強度的效果之圖形表示；

【0077】 圖32為說明在臨界流速之上及之下的不同流速下沿井長之PCM (液體或固體)之相態之圖形表示；

【0078】 圖33為由壓力控制之管道及環道中之熔融溫度範圍之圖形表示；

【0079】 圖34為說明BHA壓差對冷卻效能之影響的圖形表示；

【0080】 圖35為指示方法之一般步驟的流程圖；

【0081】 圖36為根據一個實施例之多邊井配置之示意圖；

【0082】 圖37為圖36之俯視圖；

【0083】 圖38為根據另一實施例之井配置之變體；

【0084】 圖39為根據另一實施例之井配置之另一變體；

【0085】 圖40為多邊配置之井配置之另一變體；

【0086】 圖41為多邊配置之井配置之另一變體；

【0087】 圖42為多邊配置之井配置之又一變體；

【0088】 圖43為本發明之另一實施例，其多邊井具有顯著減小之地面佔地面積；

【0089】 圖44為適用於地熱實施例之閉合迴路系統之示意圖；

【0090】 圖45為安置在載熱地質地層中的能量採收配置之示意圖；

【0091】 圖46A至圖46D為用於採收配置的替代性互連區段或多邊區段之示意圖；

【0092】 圖47為採收配置之替代方案；

【0093】 圖48為使用該方法產生的熱力學資料之描繪；

【0094】 圖49為圖48中資料之詳細版本；

【0095】 圖50為本發明之另一實施例之示意圖；

【0096】 圖51為本發明之另一實施例之示意圖；及

【0097】 圖52為本發明之另一實施例之示意圖。

【實施方式】

【0098】 作為初步概述，本文之技術係關於用於井筒地層之操作程序組及用於自熱生產地層採收熱能之設計。描述了閉合迴路地熱井筒之實例。具有多邊測距引導技術之鑽井程序組已整合至程序組中，且與電力遞送程序組及系統熔融在一起。

【0099】 最初之論述將針對用於形成有效井筒配置之鑽井/密封方案。

總體步驟包括：

- i). 鑽井時密封井筒，先用相變材料進行鑽井，隨後按順序密封；
- ii). 鑽井後進行化學處理來增強密封效果；及
- iii). 更換鑽井流體後，使用循環工作流體進行鑽井後工作，該工作流體可藉由自我修復任何剩餘或產生之滲透來增強及維持密封性，並維持井筒完整性。

【0100】 該方法之靈活性允許根據地層之具體地質情況而單獨使用此等態樣中之每一者，然而，當整合並協同工作以建立且維持閉合迴路地熱系統時，其為最有效的。

【0101】 井筒可具有多種組配，諸如具有入口/出口之單一U形管，其中入口井及出口井位於相同地面區上，成「管中管」組配，其可為豎直、偏斜或水平的，且包括將此等井筒中之多個井筒「菊鏈」式連接在一起，呈L形等。此等僅為實例，並不用於限制。熟習此項技術者將理解其他合適之配置。

【0102】 當用於形成多邊井筒時，上述態樣特別有效，其中複數個橫向井通常與U形管連接，其中多個橫向井連接至豎直井，通常在U形組配中具有多個水平橫向井，該多個水平橫向井連接豎直經包套入口井及豎直經包套出口井。當以多邊組配使用時，實現了在此項技術中未認識到之幾個優點。此等包括：

- i) 可對橫向井進行開孔、鑽井及完成裸眼作業，從而避免了安裝套管所需之

費用及時間：

ii) 一步鑽進即可建立及密封「裸眼」接面。此可避免複雜之機械連接、水泥置放、鑽出塞子或金屬部分、避免多次跳至地面，且通常避免了複雜之井下製程及由此造成之前鑽延遲所帶來之複雜性及費用；

iii) 內徑無材料減少，因此可鑽出數目不限之橫向井；

iv) 隔熱水泥層或鋼襯管與岩石之間停滯之環道不會降低導熱係數；及

v) 使得能夠使用磁測距設備重新進入多邊井，以與其他橫向井筒相交並形成封閉之U型管井筒組配。在下文中將對此進行更詳細之論述。

【0103】 關於隨鑽密封態樣，此可藉由在鑽井流體自身中包括添加劑而實現，該添加劑引起不可逆之地層破壞並將滲透率降低至零或可忽略之水平。

【0104】 添加劑可為生物生長促進劑，諸如用於微生物增強採油中之技術、產生不可滲透濾餅之實體顆粒，或在接觸並滲透至地質地層中時發生化學反應之化學密封劑，諸如時固或熱固性樹脂及環氧樹脂、凝膠及聚合物。

【0105】 另一在鑽井時密封井筒之方法為例如藉由使用高溫電漿或基於雷射之鑽頭，以熔融井筒壁之極高溫度來熱密封岩石之表面。

【0106】 較佳方法為使用化學密封劑，例如具有大於10.5之pH值的基於鹼金屬矽酸鹽之鑽井流體，其在井筒內維持液態，但在接觸並滲透至岩石中後沉澱成固體。相對於諸如硬葉岩或粉砂岩之非滲透性岩石，在可滲透性岩石(例如砂岩或破裂之底層)中，鑽井流體之技術功能係不同的。在可滲透地層中，液態鹼金屬矽酸鹽鑽井流體在反應並凝固成固體之前會滲透任何可用之流動路徑。所產生之固體沉澱物被浸漬並熔融至岩石內部之孔隙及自然裂縫中，並在井筒與地質地層之間形成不透流體之屏障。

【0107】 相比之下，在諸如葉岩之滲透率接近於零之岩石中，鑽井流體之功能不為封住滲透性 - 岩石已經無滲透性。實情為，鑽井流體之功能係在岩石

與井筒之間提供機械及化學屏障，並填補任何自然裂縫、裂隙或劈裂平面。最終結果係相同的，從而在井筒與地質地層之間形成不透水之屏障。

【0108】 密封劑亦可用於固結未固結之砂子、增大岩石之抗壓強度並防止砂子產生及脫落。

【0109】 眾所周知，可溶性矽酸鹽含有三種組分，即二氧化矽、鹼及水。二氧化矽(二氧化矽， SiO_2)為可溶性矽酸鹽之主要組分，並被鹼穩定化。鹼可選自鈉、鉀或鋰之氧化物(Na_2O 、 K_2O ，或 Li_2O)，並負責維持二氧化矽之溶解性。

【0110】 合適之矽酸鹽包括鋁矽酸鉀、鋁矽酸鈉及鋁矽酸鈉。此等產品有液體及粉末形式。矽酸鹽對於在此技術中使用係合乎需要的，因為其會經歷不同類型之化學反應，即凝膠化(pH值下降)，此係可溶性矽酸鹽結構之自聚合或縮合以形成矽酸鹽之含水、無定形凝膠結構。pH值下降會引起膠凝作用，而在pH值低於10.5時，聚合反應開始迅速發生。

【0111】 矽酸鹽可經歷之另一類型之反應係利用陽離子(諸如鈣)之沉澱。矽酸鹽之沉澱為矽酸鹽分子藉由多價陽離子(即 Ca^{+2} 、 Mg^{+2} 、 Al^{+3} 、 Fe^{+3} 等)交聯。此等陽離子存在於地層水中 - 鑽井流體與地層流體之相互作用，因此導致孔隙內之固體沉澱。

【0112】 矽酸鹽經歷之另一反應類型為脫水。隨著自液態矽酸鹽中移除水，矽酸鹽逐漸變得更黏且更黏稠，最終變成玻璃狀薄膜。此等為鑽井流體中之濾液與岩石基質中之流體混合時在井筒附近發生之反應。

【0113】 矽酸鹽對於此種地熱應用特別有吸引力，因為其在環境條件及極端高溫下係穩定之密封劑。舉例而言，在鑄造及液態金屬鑄造行業中，在 650°C 及以上之溫度下使用鹼金屬矽酸鹽及沙子，且此種實質化學反應亦用於在環境溫度下密封混凝土結構。

【0114】 鹼金屬矽酸鹽鑽井流體被調配為無固體且低黏度，以最大化井

筒流體侵入及井噴損失，從而化學密封井筒。對於多邊水平井段，摩擦為一個巨大挑戰，因此添加與矽酸鹽鹽水相容且不會嚴重影響密封劑特性之潤滑劑。

【0115】 活性鹼金屬矽酸鹽之濃度可在水中按質量計為0.3%至10%，但更可能為按質量計3%至6%。最佳濃度在一定程度上取決於地質特性，諸如原位鹽水組分及溫度。較高之岩石溫度會導致沉澱反應延遲。同樣，原位鹽水具有低濃度多價陽離子(例如，低於1000 mg/L)之地層亦會導致反應變慢。因此，隨著岩石溫度之升高及多價陽離子濃度之降低，鹼金屬矽酸鹽之濃度應增大。

【0116】 矽酸鹽鹽水之輔助益處包括增大之鑽進速率(ROP)及延長之鑽頭壽命。

【0117】 組合之岩石/密封劑材料之實體性質很大水平上源自岩石，但可藉由仔細選擇密封劑之性質來進行修改。鑽井流體中可包含導熱添加劑，諸如石墨奈米顆粒，以使所得密封劑具有高導熱率。

【0118】 可使用熱力學井筒模型來判定閉合迴路地熱系統之能量輸出，該模型由分立之井筒組成，該等井筒在流體溫度與遠場岩石溫度之間具有多個熱阻。每一分立段均執行能量及質量平衡，其中流體狀態及計算使用狀態熱力學方程式進行處理。傳熱阻力包括岩石、水泥、鋼套管及井筒本身內部之對流傳熱阻力。

【0119】 作為定量實例，使用與熱導率為3 W/mK之地質地層接觸之7吋包套固結井，岩石、水泥、套管及管對流在工作5年後之熱阻分別為2.2E-02、2.1E-03、2.9E-05及5.0E-5。傳熱主要係藉由經過岩石之徑向傳導，相比之下，所有其他熱阻可忽略不計。使用本文所述之化學密封劑，不存在對來自套管或水泥之熱傳遞之阻力，因此熱效率比先前技術方法高約9%。藉由提高塊狀岩石/密封劑材料之導熱性，可進一步提高熱傳遞。

【0120】 可藉由摻入固體顆粒來進一步增強鹼金屬矽酸鹽密封劑，該固

體顆粒被調配成化學嵌入/結合在鹼金屬矽酸鹽沉澱物中，以改良密封效能及機械完整性。可將諸如剝落之粉煤灰、表面活化之石墨烯及氧化石墨烯、碳纖維等增強材料摻入鑽井流體中。其可處於奈米分散或微分散狀態，且與沉澱之二氧化矽化學鍵合。

【0121】 在鑽井同時進行初始密封之後，將測試密封之完整性。通常，此係藉由對井筒系統加壓並監測降壓速度(若存在)來完成的，此在業界中很常見。另一方法為藉由長期量測循環操作期間的洩漏率。在此種情況下，鑽井流體被移除，且被主要目的為將能量轉移至地面之工作流體代替，且在習知操作期間量測洩漏率。

【0122】 雖然在鑽井之後密封將實質完成，但可能存在一些小的區域具有較小滲透率，諸如在鑽井時未充分密封之破裂區或高滲透率通道。因此，可在開始或返回正常操作之前使用化學沖洗或處理來增強密封。

【0123】 當如上所述使用鹼金屬矽酸鹽鑽井流體時，鑽井流體與原位地層流體反應以膠凝並最終固化成硬的高強度固體。此等反應在矽酸鹽鑽井流體與地層流體之間的混合界面處發生。在高滲透率通道或裂縫中，鑽井流體可能會迅速地遷移穿過地層，以致地層流體自井筒中移開，且混合界面實質被推入岩石中，或者地層鹽水可能非常新鮮，從而導致矽酸鹽會膠凝，但不會完全沉澱。

【0124】 在此等情況下，在岩石內部深處達成部分或實質封閉，但近井筒區含有「未消耗」或未反應之液態鹼-矽酸鹽鑽井流體，且無其他與之反應之地層鹽水。因此，化學沖洗之目的係在井筒系統中以足夠之壓力泵送化學處理劑，以引起自井筒洩漏至近井筒地層中，接觸鑽井過程中剩餘之未消耗的液態鹼金屬矽酸鹽，且引發沉澱反應。合適之化學品為氯化鈣鹽水、酸、CO₂、界面活性劑、酯，及其他在工業上已知之化學品。

【0125】 在增強密封之另一實施例中，化學處理可以足夠之壓力被泵送

穿過井筒系統，以引起自井筒洩漏至近井筒地層中，其中化學處理由「塞子」或若干份鹼金屬矽酸鹽，接著為由氯化鈣鹽水、酸、 CO_2 、界面活性劑、酯或其他業界已知之化學試劑組成之反應化學品組成。可將兩種化學品交替泵送幾次，從而導致在近井筒區進行充分混合。鹼金屬矽酸鹽及反應物之體積可用隔離物分開，以防止在井筒內混合或直接接觸。

【0126】 轉至在操作期間維持密封及井筒完整性，在石油、天然氣及地熱工業中通常使用之鑽井過程需要暫時維持井筒完整性及部分井筒密封(即濾餅)，直至套管固結在孔中或已安裝襯管。裸眼(在安裝套管或襯管之前)井筒之完整性及部分密封性係藉由對鑽井流體進行適當之工程設計及施工而形成的。

【0127】 相比之下，本文揭示之本發明要求在地熱資產之使用壽命(通常為50年或更長時間)內維持裸眼密封及井筒完整性。

【0128】 除了在鑽進時形成密封且視情況藉由單獨之化學處理增強密封之外，操作性工作流體本身在維持密封及維持井筒完整性方面亦具有關鍵作用。工作流體之主要功能係將能量自地下岩石傳輸至地面，在地面直接使用其或將其轉換為電或冷卻。因此，工作流體必須具有關鍵之實體效能，以進行能量傳遞並最大化系統之熱力學效率。舉例而言，流體可具有選自包括以下之組之至少一種性質：

a) 在壓力大於10 MPa及溫度小於180°C之入口井與出口井之間的橫向互連區段內之溫度焓關係實質上係非線性的，以使溫度差及流體與周圍井下熱源之間的熱傳遞最大化；

b) 能夠進行壓敏可逆反應，該反應在升高之壓力下係吸熱的，而在低於升高之壓力的壓力下係放熱的；

c) 含有化學吸收反應之流體混合物，該化學吸收反應在橫向互連內係吸熱的；

d) 具有與溫度及壓力有關之溶解度之電解質水溶液，其導致橫向互連內之吸熱效應；

e) 含有湍流減阻組合物之水基流體；

f) 超臨界流體，諸如CO₂；

g) 氨-乙烷混合物；及

h) a)至g)之功能組合。

【0129】 除了使熱力學效率最大化之外，工作流體亦具有鑽井流體之許多特性，即：

i) 通常用沉降池、過濾器或水力旋流器將可能收集在井筒中之固體顆粒運至地面，接著將其移除。

ii) 維持井筒之密封，使其實質上不滲透流體；及

iii) 維持井筒之穩定性及完整性。

【0130】 在一個實施例中，可藉由在工作流體內提供固體顆粒來維持密封，該等固體顆粒沿著井筒壁或橋形成濾餅並堵塞自然裂縫。此等顆粒可為碳纖維、礦物纖維、纖維素纖維、二氧化矽、粉煤灰、石墨、石墨烯、氧化石墨烯、碳酸鈣、膨潤土或工業上已知之其他顆粒。若此等固體係基於水的，則通常以工作流體之0.5至2.0重量%之間的量添加此等固體，且以其他工作流體之等效體積濃度添加此等固體。

【0131】 當如上所述使用鹼金屬-矽酸鹽鑽井流體時，鑽井流體與原位地層流體反應以膠凝並最終固化成硬的高強度固體。此等反應在矽酸鹽鑽井流體與地層流體之間的混合界面處發生。在高滲透率通道或裂縫中，鑽井流體可能會迅速地遷移穿過地層，從而使地層流體自井筒中移開，且混合界面實質上被推入岩石中，或者地層鹽水可能非常新鮮，從而導致矽酸鹽會膠凝，但不會完全沉澱。在此等情況下，在岩石深處達成部分密封或實質密封，但近井筒區含有「未消耗」

或未反應之液態鹼矽酸鹽鑽井流體，且無其他與之發生反應之地層鹽水。因此，另一維持密封之方法係包括反應物添加劑，該添加劑在自井筒洩漏至近井筒地層中時，與鑽井過程中剩餘之未消耗的液態鹼金屬矽酸鹽接觸並引發沉澱反應。

【0132】 根據界定，在鑽探之後維持滲透率之任何井筒區域將具有大量之鹼金屬矽酸鹽湧入，且在近井筒地層中含有未消耗之液態鹼金屬矽酸鹽。因此，在工作流體中包括反應物將自然地密封其餘之可滲透部分。合適之化學品為氯化鈣鹽水、酸、 CO_2 、界面活性劑、酯及其他在工業上已知之物質。

【0133】 為了維持井筒之穩定性及完整性，除了密封岩石之外，工作流體亦必須在地層上施加足夠之壓力以提供足夠之抗壓強度，以防止岩石之破裂、塌陷及部分塌陷至井筒中。可使用整合之熱力學井筒模型來計算工作流體提供之壓力，該模型包括狀態方程，以慮及相變、流體性質隨壓力及溫度之變化及液壓摩擦損耗。若設計合理，則工作流體必須藉由在入口井頂部施加足夠高之壓力(加壓流體)或藉由改變工作流體之密度來在整個井筒中提供最小之抗壓強度。在工業中已知之其他技術中，可藉由添加諸如重晶石之增重劑或經由可溶性鹽來增大流體密度。

【0134】 維持井筒穩定性之另一方法為在工作流體內包括葉岩抑制劑化學品。此化學品具有阻止黏土與葉岩之水合作用、膨脹及崩解之功能，且為鑽井流體中之常見添加劑。合適之添加劑為基於胺之化學品、膠乳或鉀鹽之水溶液，以及其他在行業中已知之添加劑。

【0135】 上述添加劑與功能之組合產生了一種工作流體，該工作流體不僅有效地將能量傳輸至地面，而且增強並維持了井筒密封，「自我修復」任何產生之滲透，並維持井筒之穩定性及完整性，保持閉合迴路地熱井筒系統實質上不透流體。

【0136】 最重要的是要求密封劑添加劑不干擾工作流體之熱力學性質。

在一個實施例中，工作流體由水、1至10 L/m³之市售腐蝕抑制劑、0.05至0.3 mol/L之溴化鉀、3至7 mM之十六烷基三甲基銨界面活性劑、8至16 mM之水楊酸鈉，及0.5重量%之碳酸鈣固體顆粒組成。

【0137】 上述解決方案在適合於直接使用之地熱供熱之溫度範圍內維持大於60%之湍流阻力減小，此對於熱力學有效操作至關重要。根據API RP 13i熱軋葉岩分散程序進行測試時，其亦具有40%以上之採收率，與未消耗之鹼金屬矽酸鹽反應形成堅固的固體材料，且碳酸鈣顆粒橋接並堵塞了自然裂縫及基質滲透。

【0138】 在另一實施例中，工作流體本身僅僅為經改質鹼金屬矽酸鹽鹽水。

【0139】 在另一實施例中，工作流體為超臨界CO₂，其具有特別之價值，因為在許多地熱場景中，超臨界CO₂具有優於水的熱力學效率，且其亦為使鹼金屬矽酸鹽液體凝固成堅硬固體材料之極佳反應物。

【0140】 現在將在以下實例中描繪各種密封機構。

實例1

化學密封

【0141】 在滲透堵塞設備中執行矽酸鹽系統之密封能力之初始測試。

【0142】 滲透堵塞設備測試：

- 將20 μm、3000 mD圓盤(由OFITE提供)浸泡在30%之氯化鈣溶液中隔夜(約16小時)，以使孔完全用鹽水飽和，且形成矽酸鹽鑽井流體與之發生反應的「嚴重情況」原位流體。

- 根據OFITE說明手冊及API RP 13i (鑽井流體實驗室測試之推薦實務)進行滲透堵塞測試(PPT)。

- 將250 mL以下描述之測試流體轉移至PPT池中，並將預浸泡之圓盤放放於

設備中。在對設備加壓並開始測試之前，使鑽井流體與圓盤接觸45分鐘。

- 測試在室溫及500 psi下執行30分鐘。
- 1、5、7.5、15及30分鐘後記錄濾液體積。

【0143】 圖2為在 $\frac{1}{4}$ 吋厚之濾盤上進行之測試的一些典型資料之曲線圖。聚合物對照流體流過，且濾液體積無實質減少。當添加不同類型之矽酸鹽時，由於發生沉澱，過濾速率急劇降低。請注意，即使在具有3000 mD滲透率之 $\frac{1}{4}$ 吋厚之磁碟中，滲透亦幾乎消除。

【0144】 流體製備：

- 藉由在適當之剪切速率下使用Silverson混合器將黃原膠(Kelzan XCD™)混入淡水中約30分鐘，製備1000 mL之5 kg/m³聚物流體。

- 對照流體為上述聚物流體。

- 將調配物A (30 mL之Ecodrill™ 317，可購自PQ Corporation之產品)，與270 mL之上述聚物流體混合，以產生300 mL之3%活性可溶性矽酸鉀。

- 將調配物B (30 mL之Ecodrill™ K45，可購自PQ Corporation之產品)，與270 mL之上述聚物流體混合，以產生300 mL之3% (V/V)活性可溶性矽酸鹽。

【0145】 調配物A之總PPT體積為273.8 mL，計算出噴射損失為257 mL，且計算出靜態過濾速率為3.1 mL/min。調配物B之總PPT體積為103.8 mL，計算出之噴射損失為103.8 mL，且計算出之靜態過濾速率為3.7 mL/min。使用API 13i中表達之公式計算諸值。

【0146】 亦進行了岩芯驅替/再入滲透/岩芯破壞研究。此等類型之測試通常用於研究鑽井流體或鑽井流體添加劑對自所關心目標生產區獲得之岩芯滲透率之影響。通常，研究之目的為使損害最小化或使再入滲透最大化。藉由用天然鹽水、油或某些鹽水/油混合物使岩芯飽和，且使地層流體在儲層壓力之壓力及溫度條件下流過岩芯，從而建立並量測初始滲透率。接著，將測試流體注入岩

芯表面歷時一定時間段，可量測濾液之體積、流體之侵入及濾餅之厚度。接著，以相反流動方向注入地層流體，以判定在曝露於測試流體後滲透率可能已減小或甚至增大之程度。在此研究中，目的係藉助於矽酸鹽測試流體與合成鹽水飽和岩芯之膠凝及沉澱反應來破壞岩芯。

【0147】 岩芯驅替/再入滲透/岩芯破壞研究如下進行：

【0148】 在真空下用合成鹽水飽和滲透率約為30 mD之Berea砂岩岩芯，且用3%之矽酸鉀溶液及2%之特種潤滑劑進行測試。

測試程序、參數及結果如下。

【0149】 程序：

- 1) 稱重塞子，並在15 inHg真空下用鹽水預飽和1週。
- 2) 置放在岩芯流中並量測對鹽水之滲透率。
- 3) 混合矽酸鉀泥漿並加熱至95°C。
- 4) 以3 mL/min之連續速率將泥漿注入岩芯中。
- 5) 隨時間推移監測壓力。
- 6) 差壓隨時間呈指數增長，直至約2500 psi。觀察到流體突破。
- 7) 磁芯並未完全拔出，但卻損失了約99%之滲透率。
- 8) 收集廢水以判定液體之排量(侵入深度)。

【0150】 參數：

儀器：Chandler Formation回應測試儀

芯塞：1.5"×3.0"砂岩

溫度：95°C

測試流體：3%之矽酸鉀及2%之潤滑劑

孔體積：16.78

初始滲透率：對鹽水為28.32 mD

泥漿處理後之滲透率：0.197 mD

滲透率降低：> 99%

流速：3 mL/min

鹽水組成：

NaCl - 230.303 g

CaCl₂ - 79.054 g

KCl - 8.346 g

MgCl₂ - 13.79 g

【0151】 接著進行葉岩分散測試以判定具有潤滑劑之鹼金屬矽酸鹽溶液密封並為葉岩樣品提供機械完整性之能力。該方法係根據藉由熱軋進行葉岩分散之API RP 13i程序，如下：

- 將大約2 kg之Pierre Shale碎片壓碎，得到大約900克 -5/+10目(2-4毫米)之碎片。與通常存在於地熱深處之成熟、堅硬之葉岩地層相比，Pierre葉岩具有更高之反應性及對水之敏感性。選擇其作為保守之基準，成熟葉岩之實際效能會更佳。
- 使用ASTM篩及Ro-Tap篩搖床篩分-5/+10目碎片2分鐘。
- 將約10 g葉岩置於250 mL測試流體中。
- 將樣品在120°C下軋製24小時。
- 軋製後將樣品倒入20目篩網中。
- 用抑制液(7% KCl)沖洗老化池，以清除黏附在內壁上之所有物質。
- 在20目篩上採收之材料總量在烘箱中100°C下乾燥至恆定質量。
- 接著將每一樣品重新過篩，並記錄-5/+10餾分之質量。

【0152】 若干不同流體調配物之結果呈現如下。

無	樣品	初始質量 (g， -5/+10	總採收質量 (g)	採收質量 (g， -5/+10	採收率
---	----	--------------------	--------------	--------------------	-----

		目)		目)	
1	水	10.025	2.027	0.113	1.1
2	3% (v/v)矽酸鉀	10.041	9.895	9.799	97.6
3	3% (v/v)矽酸鉀+ 2%潤滑劑	10.007	10.164	9.657	96.5
4	礦物油	10.011	9.251	8.501	84.9
5	7% KCl	10.054	9.015	7.307	72.7
6	10 L/m ³ 胺	10.002	6.961	5.759	57.6
7	工作流體組成	10.175	7.102	4.514	44.4

【0153】 達成超過97%之採收率，從而指示葉岩之極佳密封性及強度。

礦物油與葉岩不會反應，但僅採收了約85%之質量。質量損失係由於軋製過程中之機械降解。因此，高之97%採收率表明不僅係化學密封形式，而且亦實現了機械硬度之提高。添加了葉岩抑制劑之工作流體亦具有44%之採收率，此相對於僅有1%採收率之淡水得以顯著改良。

【0154】 實例2

測試了由水、市售腐蝕抑制劑、溴化鉀、十六烷基三甲基銨界面活性劑、水楊酸鈉及0.5重量%之碳酸鈣固體顆粒組成之工作流體。

【0155】 使用2吋200升容量之加熱流，測試了壓降(即阻力)之量測結果及湍流之特性。迴路配有分別具有高剪切力及低剪切力之離心泵(GIW，LCC-M 50-230)及螺桿泵(Moyno™，2F090)。最大Re數達到500,000，且迴路可在體積濃度為15%之固體下操作。用新鮮水校準壓降，且將其與使用工作流體之相同流速下之摩擦壓降進行比較。在適合直接使用熱的應用之溫度範圍內，達成63%之湍流阻力降低。

【0156】 為了測試在近井筒中與未消耗之鹼金屬矽酸鹽之反應性，將Ecodrill™ 317、2.5比率的SiO₂:K₂O之29.1%活性溶液混合至工作流體樣品中。使用NaOH將pH值調節至11-12，接著在緩慢攪拌下將鹼金屬矽酸鹽溶液注入工作流體樣品中，以產生3% (v/v)及1% (v/v)之溶液。選擇此等低濃度以保守地表示近井筒未消耗之鹼金屬矽酸鹽鑽井流體。在每種情況下，將矽酸鹽溶液添加至工

作流體中均會引起沉澱，且在24小時後矽酸鹽凝固。結果表明，工作流體將強化且增強井筒密封，從而使工作流體實質上不可滲透。

【0157】 為了評估工作流體維持井筒完整性及穩定性之能力，進行了經修改之葉岩分散測試。該測試方法涉及2個葉岩分散液，同一樣品連續進行。首先，如上所述，將樣品在密封劑中熱軋，接著重新浸泡在工作流體中，以判定密封後之葉岩機械強度及化學隔離性。在使用鑽井流體密封劑進行最初之葉岩分散之後，將樣品乾燥、稱重，接著浸入工作流體化學溶液中並軋製24小時。

【0158】 接著，在軋製之後將樣品倒入20目篩中，且將在20目篩中採收之全部材料在烘箱中於100°C下乾燥至恆定重量。接著將每一樣品重新過篩，並記錄-5/+10餾分之質量，並將其與密封及乾燥後之樣品質量進行比較。有趣的是，多輪操作之結果表明質量採收率超過96%，從而指示工作流體維持井筒完整性之極佳能力。

【0159】 實例3

機械方法

在一個實施例中，該機制可藉由向鑽井流體中添加固體顆粒來實現，該等固體顆粒自然地遷移至孔隙/裂縫中以降低滲透率。此通常稱為損耗循環材料(LCM)。

【0160】 固體顆粒可為粒狀材料、纖維材料及薄片材料及其組合，且以降低滲透率所必需之大小存在(經由鑽井流體分散)。合適大小可為奈米至毫米。

【0161】 Abrams規則及/或理想填充理論概念對於建立最合適之材料很有用。Abrams規則提出，橋接劑之粒徑應等於或略大於目標地層的中值孔喉大小之1/3。

【0162】 理想填充理論提出了全範圍之粒度分佈，以有效地密封所有空隙，包括由橋接劑產生之空隙。

【0163】 在橋接之前，亦可判定顆粒之大小以滲透至孔隙中。

【0164】 另外，鑽屑可增強LCM，且用作堵塞材料

【0165】 在鑽井過程完成之後，可使用此等LCM產品中之任何一種用於補救井筒洩漏。帶有LCM之其他黏性清掃器可以較低之速率泵送穿過裸眼區段，以允許LCM侵入並密封任何洩漏。

【0166】 最後，固體矽酸鹽(可能被囊封)亦可提供用於密封儲層之有效化學/機械組合機制。

【0167】 實例4

生物方法

微生物強化採油(MEOR)係一個工程設計領域，其管理微生物之設計、生長及刺激以提高採油量。大多數深層地質地層在孔隙內含有厭氧細菌。與近地表微生物相比，此等細菌之能量及養分供應量非常低，因此種群密度較低。

【0168】 一種MEOR技術係用營養物處理土著微生物，以刺激其生長並最終用生物材料堵塞岩石孔隙。營養物可為任何化學品，但通常包括硝酸鉀及磷酸二氫鈉。由於細菌之生長係指數增長的，因此若提供足夠之原材料及合適之條件，細菌會被誘導生長且完全堵塞其所居住之孔隙，從而使岩石實質上無法滲透流體。

【0169】 另一技術係將新微生物引入地層並同時向其提供營養。此等微生物可被設計為僅在特定溫度下生長，因此可藉由注入熱地層中而被激活。

【0170】 任一技術可應用於習知鑽井流體，從而使岩石對流體實質不可滲透，且形成閉合迴路地熱系統。

【0171】 實例5

散熱方式

【0172】 儘管大多數沉積地層在1200°C或更低之溫度下熔融，但地質地

層具有不同之化學性質，因此具有不同之熔點。在研究、開發及測試階段，若干技術可藉由熱分解而非機械接觸來穿透岩石。

【0173】 一種方法係藉由電流或核能產生電漿。電漿熔融岩石，且使連續鑽探成為可能。

【0174】 另一方法係將雷射傳輸至岩石表面上，從而提高溫度直至岩石開始剝落、崩解並最終熔融。

【0175】 另一方法係傳輸高速彈丸，該高速彈丸在撞擊時釋放足夠之能量以將溫度提高數百度。

【0176】 此等技術中之每一者具有在鑽探時熔融多孔且可滲透之岩石之能力，接著可對其進行冷卻及退火以形成實質上不可滲透流體之堅硬、耐用之屏障。

【0177】 已經論述了該技術之方法細節，現在將參考附圖來參考具體實施方式。

【0178】 現在參考圖1，說明不同調配物之滲液體積隨時間平方根之變化的圖形表示。

【0179】 圖2為實施例1中描述之化學密封岩芯驅替測試之壓差及滲透率資料隨時間而變之圖形表示。

【0180】 圖3為具有入口井10之井之橫截面，該入口井具有用於地下水保護之地面套管12。如圖所示，中間套管14被固結至適當位置。所有此等組件係此項技術已知的。橫向區段16自中間套管14延伸，該橫向區段在此實例中不包括套管，而是敞開之密封井筒。如本文先前所述，圍繞橫向區段16之孔隙被密封劑密封。經密封孔隙用數字18表示。密封之橫向區段與中間套管14連續。接著，中間套管與出口井20連續連接。出口井由套管12完成。

【0181】 圖4說明替代場景。在此實例中，橫向區段16可被間歇性地密

封，從而導致未密封之岩石面22。在此情況下，套管24展示為襯管，此意味著並未固結。襯管22因此改良了未密封之岩石面且維持自入口10至出口20之連續迴路。此可與連續密封之區段結合使用。此將取決於地層之具體地質情況。

【0182】 關於多孔或破裂之岩石中之密封區域，在上述化學實例中，密封劑不與岩石表面熔融，而是嵌入岩石中。通常，圖2及圖3描繪了堅硬的岩石。

【0183】 現在參考圖5，展示將井安置在地層中之滲透率較小之區段內的實例，其實例為沉積葉岩或泥岩區段。在此情況下，地層可能不常見通常用數字26表示之裂隙、裂縫、劈裂平面等。可使用化學襯管28來完成入口10與出口20之間的連續性，同時化學襯管組合物28會填充如圖所示之裂隙、裂縫及劈裂平面。

【0184】 轉至圖6，說明井組配之第一實例。在該實例中，入口10及出口20中之每一者包括與多個橫向井系統36之入口32及出口34連通之習知包套區段30。該系統安置在地熱地層38內。系統36包括複數個橫向井16，其可根據關於圖3及圖4概述之情況而部分地包套。在地層38中可使用任何數目之井系統36。此由豎直及水平之數字6n表示，其中「n」指示系統36之形狀或任何其他合適組配的任何數目之另外井。

【0185】 入口32及出口34在多邊接面處與包套區段30整合在一起，現在將在附圖中參考。

【0186】 圖7說明一種可能之多邊配置。入口32與密封之多邊井筒接面40連接，橫向區段16自該接面連續延伸。橫向區段16彼此間隔開以使來自地層38內之熱採收最大化(圖6)。橫向區段16可包括如關於圖3至圖5所論述之套管。系統36之出口34將包括類似之接面40 (未展示)。

【0187】 轉向圖8，說明L形井組配，其總體上由數字42表示。在此實例中，井具有延伸區段44，該延伸區段具有與先前實例密封之敞開井筒之末端46。

絕緣管48在井內延伸以用於流體遞送。延伸區段44可處於任何選擇之角度。

【0188】 圖9說明豎直定向之實例。

【0189】 在圖10中，提供了用數字50表示之W形井。地面用數字52表示。在此實例中，一個井之輸出成為另一井之輸入。流動方向用箭頭表示。該模式可重複進行額外循環。在此實例中，敞開的井筒16如先前之附圖所論述而被密封，且可併有具有簡單密封之井筒區段之包套區段的交替圖案。此將取決於地層地質。

【0190】 圖11說明與圖3最初提及之系統類似的多邊系統之另一變體，其將入口及出口導管組合至單一井筒中，多邊區段之安置可在地層內以任何角度進行。在此實例中，橫向區段16在末端54處會聚。

【0191】 圖12為單工位配置56之側視圖，其中入口井10與出口井20通常接近。展示用於橫向區段16之流體迴路。如同先前實例，裸眼井孔被密封，而在進行鑽井之同時在該程序期間密封了周圍孔隙。數字12n具有與圖6中提及之6n相同之含義。

【0192】 在圖13中說明另一變體。展示多個橫向井配置之俯視圖。所示之複數個井中之各個井16共用共同入口井10，在地層之地熱區內延伸(在此圖中未展示)，且在閉合迴路中返回至共同出口井20。箭頭展示流動方向，且可將流量與單獨迴路中的每一個別迴路或菊鏈隔離。此對於較小之佔地面積係有利的，同時允許在地熱區內進行最大之熱開採。

【0193】 圖14描繪另一變體，其中提供了複數個井配置，同時維持歸因於圖13之實施例的小佔地面積。

【0194】 圖15併有多邊井系統50與最初在圖13中呈現的井組配之組合。在此組配中，兩個分立之單一工位56可跨越大面積而以最小之表面侵入性來開採大的地下地熱區域。流動方向用箭頭展示，且可將流量與單獨迴路中的每一個

別迴路或菊鏈隔離。本文論述之密封技術之有效性允許靈活地提供此種混合組配。繼而，此允許在多種地質情況下進行采熱，從而允許在實踐本文之方法時之另一自由度。

【0195】 在更集中之細節中，圖16說明鑽出的井筒之橫截面，在本文中亦稱為橫向截面16。在該實例中，地熱地層38為高滲透率地層。由於滲透率之緣故，密封劑在地層之孔隙內擴散，且緊鄰井筒16維持未反應狀態，用數字60表示。未反應之密封劑區域之外部為用密封劑密封之孔隙，如先前之實例所示，用數字18表示。

【0196】 圖17說明將來自圖16之井筒曝露於工作流體之結果。在此處理之後，圍繞井筒之地層區域被密封，從而在井筒本身之內部體積與圍繞其之地層之間形成不可滲透之界面。此係特別有利的，因為密封之井筒16被未反應之密封劑60包圍。若井筒密封受到地震活動或其他有害活動之損害，則井筒可藉由在可用反應物儲備與工作流體之間的反應之自愈而維持其完整性及密封能力。就隨時間減少操作及維護成本而言，此顯然具有非常重要之優勢，此當然可大大減輕與初始合成油井系統相關聯之初始資本支出。

【0197】 對於具有低滲透率或平均滲透率之岩石，例如花崗岩、泥岩或葉岩，可在井筒16之周邊周圍之孔隙、裂縫、裂隙、劈裂面等中填充密封劑，以在單一步驟中形成不滲透之界面，而無需反應性工作流體或進一步處理。因此，將認識到，考慮到本文論述之方法之範圍，地質滲透不會造成任何地熱開採問題。

【0198】 作為輔助益處，該技術可擴展至修復及改造領域。本文技術之基礎之一為對地熱領域中產生能量之環境友好解決方案，該解決方案避免了因壓裂而導致無吸引力之流體處理。第二個基礎為，該技術提供了真正之閉合迴路系統，此與先前技術中不適當地將其表徵為閉合迴路之系統相反。

【0199】 由於該技術允許具有列舉之地熱採收益處之高效密封方案，因此已發現，該技術可應用於補救無效、未使用或原本無法操作之地熱井。由於許多問題，諸如低流速、無效之裂縫、未凝固之地層及因此導致的出砂問題、鹽水之過度腐蝕或固有之浸出問題等，此等井可能無法使用或無法操作。

【0200】 因此，在不可能對此處論述之新的非壓裂地熱裝置進行改造之情況下，不可操作之位置將藉由移除不必要之套管及輔助組件而被放棄，或者在可能之情況下藉由諸如壓裂或可能藉由重新鑽探之昂貴且對環境有爭議之操作進行補救。鑒於滲透程度不成問題，密封技術具有誘人之修復優勢。

【0201】 關於現有地熱井之轉換或翻新，此等井之存在使得該技術之部署具有顯著經濟優勢、消除對壓裂液管理、所誘發地震及環境風險之需要，並使得以前被廣泛認為係不環保之能源的改造工位成為進一步建設之綠色能源平台。

【0202】 關於技術範圍之額外實施方式，現在將參考附圖。

【0203】 在圖19中，井迴路64包含具有安置在地質地層內的入口井10及出口井20之閉合迴路系統，該地質地層可為例如地熱地層、低滲透率地層、沉積地層、火山岩地層或「基底」地層(更恰當地描述為沉積盆地下方之結晶岩(未展示))。

【0204】 井迴路64與電力循環66藉由熱交換器68熱接觸，該熱交換器自地層中在迴路64中循環之工作流體中回收熱量，隨後在循環66中將其用於與發電機70一起發電。舉例而言，地層之溫度可能在80°C至150°C之間的範圍內，或者可能超過150°C甚至超過400°C。

【0205】 在所說明之配置中，使用了兩種不同工作流體。在下文中將論述關於流體之更多細節。在較低之環境溫度下，有可能修改系統之油井迴路操作中使用之工作流體。

【0206】 由此，當前可用之發電模組通常在主要熱交換器中將電力循環工作流體之輸入溫度限制為高於 0°C 。藉由將工作流體溫度降至零以下，可實現更高之渦輪壓力比。然而，習知之地熱項目受到地熱流體可能在熱交換器另一側上凍結之限制。

【0207】 藉由結合閉合迴路并實施分離之電力循環系統來克服本技術中之此等限制。

【0208】 可用添加劑對流體進行改質，以防止在低於零攝氏度之溫度下凍結。合適之添加劑包括防垢劑、防腐蝕劑、減摩劑及防凍化學品、製冷劑、殺生物劑、烴、醇、有機流體及其組合。

【0209】 定製之井迴路工作流體與分離之電力循環相結合之一個顯著優點為，其不受非常冷之環境溫度之影響，因此便於使用任何通用電力循環(包括ORC、Kalina、碳載流子循環、CTPC)來在與圖19所示之油井迴路配合使用時用於增大較高之淨發電量。在此配置中，當第二工作流體之溫度為 0°C 或低於 0°C 時，熱自第一工作流體傳遞至第二工作流體。

【0210】 具有分離迴路之可選配置在圖20及圖21中說明。

【0211】 圖20說明分離迴路，其併有與兩個不同熱交換器18熱接觸之井環12，每一熱交換器自身之發電機22形成並聯配置。類似地，圖21說明串聯配置。

【0212】 整合之井迴路電力循環為閉合迴路系統，其中所選工作流體在井迴路內循環，且接著流入地面上之渦輪，如圖22所示。數字72表示整個過程示意圖。在此過程中，使用單流體，而非使用分立之井迴路流體及輔助電力循環工作流體。在此閉合迴路循環中，工作流體可作為跨臨界循環操作，從而流體在較高工作壓力下為超臨界且在較低工作壓力下為亞臨界，或作為完全超臨界循環操作，從而在較低工作壓力下保持超臨界。

【0213】 眾所周知，跨臨界循環為熱力學循環，其中工作流體經歷亞臨

界及超臨界狀態。該設備進一步包括冷卻裝置，該冷卻裝置在該實例中展示為空氣冷卻器74及帶有發電機78之渦輪76。空氣冷卻器74用於將工作流體冷卻至比環境溫度高1°C至15°C之溫度。亦應注意，可將工作流體冷卻至零攝氏度以下之溫度。參考圖24描繪了效能資料。

【0214】 在此整合循環中之驅動機構為非常強之熱虹吸管，其由於入口豎直井10與出口豎直井20之間的密度差而產生。流體在入口井10中處於超臨界液態，在其沿著橫向互連區段80行進時受熱，且在出口井20中以超臨界狀態離開，此會產生很大之壓力。

【0215】 除了在啟動期間之外，在正常操作條件下，熱虹吸效應可完全消除對地面泵之需要。有利地，此消除了操作泵所需之功率且增大了淨電功率輸出。

【0216】 與井迴路配合使用的為使用針對井筒佈局、深度、長度及環境溫度定製之定製流體及混合物。先前技術僅論述使用二氧化碳或純烴流體。對於諸如本文所論述之閉合迴路系統，流體混合物之初始成本及複雜性僅為總體經濟中之次要因素。因此，可使用其他流體，諸如在入口井與出口井之間的互連段內、在壓力大於10 MPa及溫度小於180°C時具有非線性溫度焓關係之流體，以最大程度地提高流體與周圍井下熱源(即周圍岩石)之間的溫度差及熱交換。

【0217】 已發現，在井迴路之側部內表現出實質上非線性之溫度-焓關係及/或表現出在升高之壓力下吸熱且在較低之壓力下放熱的壓敏可逆反應的壓敏可逆反應之流體可大大增大發電量。此係因為遠場岩石溫度與循環流體溫度之間的平均溫差增大，從而驅使自地質地層之熱傳熱增大。

【0218】 以分離組配使用之此種類型之流體的實例為具有取決於溫度之溶解度之沉澱物/電解質水溶液，其中水在入口井之頂部處為超飽和的。固體顆粒與防垢劑(抗絮凝劑)及湍流(類似於鑽探泥漿)維持懸浮狀態。在橫向區段中，

溫度升高，因此固體在懸浮液中之溶解度亦升高。當固體顆粒溶解至水中時，此允許溶液自岩石吸熱(實質上增大流體之有效熱容量)。在將熱電循環分開之熱交換器中，溫度下降，因此固體物質放熱地析出。

【0219】 有用之流體包括具有以下溶質之水溶液，例如：乙酸銨、磷酸二氫銨、甲酸銨、硝酸銨、溴化鉀、氯化鉀、甲酸鉀、碳酸氫鉀、硝酸鉀、乙酸鈉、碳酸鈉及磷酸二氫鈉。

【0220】 在整個環境條件範圍內使用單一渦輪且具有足夠之效率係有問題的。已發現，使用針對不同環境條件最佳化之串聯或並聯之兩個或更多個渦輪解決了該問題。在溫度較低之時段期間，控制邏輯(未展示)會自動將工作流體轉移至適當之渦輪上，以全年維持高效率。

【0221】 現在參考圖25及圖25A，展示井菊鏈之示意圖，其總體上由數字82表示。在此實施例中，每一地面位置(大體由數字84表示)包括連接至橫向井導管或互連段88及生產井90之注入井86。以此方式，連續井結構與大體U形結構相配。橫向井段可包含如圖3中所論述之井系統36或先前所論述之任何其他組配。

【0222】 如圖所示，每一位置84係分立的，且以合理且有利之方式鏈接至近端位置。作為實例，位置之間的距離可為3,500米至6,000米。當然，自一種情況至另一情況，此將有所不同。

【0223】 在操作中，工作流體在一個位置84之注入井86中循環，視情況經由例如發電設備(未展示)進行處理，以採收熱能，隨後作為輸出流傳遞至用於近端位置84之注入井86的入口進料流。點劃線92說明此中繼或菊鏈排序。由於並非全部熱量均被採收，因此將近端位置之井86之入口進料流預熱，以注入至橫向導管88中。接著，該過程將重設，以在下一個位置84重複。

【0224】 現在轉向圖26，展示本發明之另一實施例，例如8,000 kW至

12,000 kW之系統。在此實例中，個別迴路可在集中位置94處接合，以便集中發電設備(未展示)以增大功率及效率。

【0225】 圖27及圖28說明較小規模之操作，分別為4,000 kW至6,000 kW (圖27)及2,000 kW至3,000 kW (圖28)。

【0226】 現在轉向本發明之相變態樣，現在將參考比先前技術更有效地冷卻鑽柱、井底總成及岩石面(均未展示)之鑽井流體組合物。冷卻鑽井流體使用相變材料(PCM)來減輕標準鑽井流體遇到的逆流熱交換問題。眾所周知，PCM在幾乎恆定之溫度下進行熔融(熔融及凝固)，因此，其吸收及釋放熱能而不會實質性地改變溫度。此等特性與依序隨鑽密封及使用PCM進行鑽探並隨後進行密封之統一性對於無法藉由標準設備實現的高溫地層中利用習知鑽探設備進行之高效鑽探具有顯著積極影響。

【0227】 參考圖29，將PCM添加至鑽井流體中，並以足夠之流量泵送流體，以使PCM在整個系統中經歷相變(或至少在靠近井底鑽具總成時發生(未展示))。

【0228】 參考圖29，將PCM添加至鑽井流體中，並以足夠之流量泵送流體，以使PCM在整個系統中經歷相變(或至少在靠近井底鑽具總成時發生(未展示))。

【0229】 在鑽柱96之頂部(系統之入口)，亦稱為管道，以固態(或大部分為固態)泵送PCM。當流體98下降至管柱96之管道100時，熱自環道1104中之返回流體102傳遞出去；然而，由於環道104與管道100之間的溫度匹配緊密(低溫差)，傳熱速率很小。管道100中之流體98在下降時吸收熱能，且熔融時沒有實質性改變溫度，且以完全固態或比管道100之頂部處更高之液體餾分離開鑽頭106。當流體102在環道104中回流時，其繼續自岩石108吸收熱，直至近井筒岩石溫度低於流體溫度為止。系統之熱力學被設計成使得在鑽柱96中流動之PCM漿料在底部

鑽具總成(未展示)處或附近至少部分地維持固態。此操作可以任何順序與隨鑽密封操作依序進行，如本文先前所提及的。

【0230】 水之回流遞減。儘管在一定程度上有效，但增大水之流量對井底溫度之影響仍然很小。此歸因於逆流傳熱，其在下降之水甚至到達鑽頭之前就對其進行加熱(圖29)。圖30說明了在4500 m深度鑽入340°C岩石時之情況。相變漿料(PCS)套管為當PCS以4 m³/min之速度流動時，套管26 112與鑽柱10 96之間的環道24 110中返回流體之漿料溫度。當水以4 m³/min之速度流動時，BHA (未展示)處之溫度約為222°C。將水流量增大至5 m³/min僅會將BHA冷卻至209°C。PCS流體能夠以4 m³/min之速度冷卻至160°C，遠低於可用水達成之程度。

【0231】 如此項技術中已知的，鑽進速率ROP隨岩石強度而變。已發現，藉由引起快速之冷卻衝擊，在用鑽頭進行實體破壞之前，可削弱岩石或「預調節」岩石。藉由維持比原位岩石溫度低得多之循環流體溫度，冷鑽井流體在鑽頭面(未展示)附近之岩石中引起局部熱收縮。此種收縮使岩石變弱，甚至可能導致拉伸破壞。

【0232】 在學術文獻 Yan-Jun Shen 等人 Experimental Study on Temperature Change and Crack Expansion of High Temperature Granite under Different Cooling Shock Treatments (Energies, 2019)中論述了弱化效果與冷卻強度有關。為了對ROP產生實質性影響，需要大於50°C之冷卻。在150°C之冷卻條件下可能會發生大量之削弱及拉伸破壞，僅靠水係無法實現的。美國專利第9,758,711號揭示一種PCS鑽井流體以冷卻鑽頭及井底鑽具總成。該揭示內容指出，與水相比，僅可獲得略佳之冷卻效果(約5°C)。

【0233】 當使用此處描述之方法時，岩石可被冷卻超過100°C。參考圖30說明190°C之冷卻。圖31描繪岩石機械強度與衝擊冷卻溫差之關係，即PCM鑽井流體與原始岩石溫度之間的溫差。

【0234】 本發明之特別有用之應用係用於建構如在申請人之共同待決的申請案中所揭示的閉合迴路、僅傳導地熱系統。此等系統通常需要磁測距工具及具有遙測功能之定向MWD系統，以使各種井筒相交以形成封閉系統。在操作之測距階段中，至關重要的係將磁測距接收器及其他電子件(未展示)維持在其溫度極限以下。接收器可置放在鑽柱(管道)之末端，且經組配以允許流體流過工具並流出管道之末端。以此方式，可使用本文所述之設計及操作方法，藉由以較高速率將PCM泵送穿過工具且返回環道，來主動冷卻磁測距設備。在此應用中，冷卻並非用於鑽井，而是僅用於冷卻井底電子件。

【0235】 PCM被設計及選擇為具有低於鑽柱及BHA內之設備、電子件及感測器之最高溫度極限之熔融溫度。因此，即使岩石溫度可能遠高於設備之最高溫度極限，鑽井流體溫度仍維持在PCM熔融溫度。可使用標準之定向鑽探設備、電子件等來鑽探高於200°C至400°C或更高溫度之岩石溫度。此外，目前，有些井已使用高達250°C之昂貴高溫工具進行鑽探。相比之下，本文揭示之技術實現了更低廉、更可靠且有效之設備，從而節省了大量成本。

【0236】 如上所述，美國專利第9,758,711號揭示一種PCM鑽井流體，用於冷卻鑽頭及井底鑽具總成。然而，該發明無法實現足夠之冷卻以弱化岩石以實現更快之ROP，或者無法解決實現大規模冷卻效果所需之操作難題。

【0237】 重要的是維持PCM在鑽柱內之分散，以防止聚集及流動路徑之潛在堵塞。本文之教示提供了具有固相PCM顆粒之穩定乳液。然而，經過若干熔融/固化循環後，PCM顆粒趨於聚集並變得較大。重要的是要在流體湍流及高剪切速率下進行凝固過程，此會將團聚限制在一定之最大粒徑範圍內。

【0238】 已發現，需要臨界流速來實現顯著之冷卻效果，該冷卻效果可削弱岩石、增大ROP並能夠為高溫岩石中之地熱閉合迴路系統進行磁測距。臨界流速由以下界定：PCM在整個鑽柱上至少部分維持固態(因此經歷熔融)，並以部

分固態形式離開鑽頭(或井底總成)。不必在環道中，而僅需在管道中，使用固態形式之PCM。

【0239】 現在參考圖32，說明在4500 m深度鑽探340°C 岩石(線性75 °C/km地熱梯度)之情況下的不同流速，熔融溫度為150°C。對於每種流速，井下總成之溫度分別在2.5、2.9、3.0 m³/min下為180、150、150°C。因此，在此情況下，臨界流速為2.9 m³/min，因為任何較低之流速均會導致BHA處之溫度升高，而任何較高之流速均不會導致額外之冷卻。

【0240】 對於與地熱項目有關之深度及溫度，通常臨界流速在2 m³/min至6 m³/min之間。

【0241】 為了達成期望之冷卻效果，重要的是使管道與環道之間的熱傳遞最小化。若BHA壓力控制不當，則環中熔融之PCM之熔融溫度會高於管道中之熔融溫度，從而導致自環道至管道之大量不希望有之熱傳遞。熔融溫度為壓力之函數。必須將管道與環道之間的壓力差 ΔP 控制得足夠高，以使管道中之最小熔融溫度高於環道中之最大熔融溫度，如圖33所示。

【0242】 圖34展示圖形表示，其展示正確設計整個BHA之 ΔP 之重要性。其描述了兩種情況，每種情況具有相同之流量、鑽井流體組分、井尺寸及岩石溫度。情況1在管柱底部(井底總成)之設備及組件上無壓降或 ΔP 。情況2之壓降很大。鑽頭處之流體溫度分別為230°C及160°C。

【0243】 需要移除運輸至地面之岩屑，以維持所需之鑽井流體固體含量/密度。在許多地熱應用中，尤其是在申請人共同待決之申請案中揭示之應用中，清澈流體為理想的，其意味著固體物質含量不高之流體。藉由篩網/振動篩移除較大碎屑時，用離心機移除較小之固體，離心機分離出較高密度之材料。因此，PSM應選擇為具有與基礎載液類似，且理想地略低於載液之密度，以便能夠在離心機中移除碎屑，但將PCM顆粒留在流體中。

【0244】 將固體PCM添加至諸如水之基礎載液中會顯著增大有效體積黏度。隨著黏度之增大，液壓摩擦壓力亦會在井筒中下降。高壓損失通常意味著大量地面泵送功率及高壓設備。然而，可選擇PCM在液態與固態之間具有顯著之密度差。藉由將此PCM特性與最佳化之流體組分及流速相結合，可對系統進行設計/操作，以使PCM在鑽柱中之固相百分比明顯高於在環道中之固相百分比，從而在鑽柱與環道之間產生較大之密度差，使虹吸效果顯著。虹吸效果為系統添加壓力驅電力，從而部分克服了PCM黏度增大之影響。

【0245】 密度差並非經典之熱虹吸管，因為管道/環道中之溫度實質相同。替代地，虹吸為由環道與管道之間的PCM之相對相位狀態引起的。

【0246】 使用菊鏈實施方式之重要特徵之一為缺少對近地面回流導管之需求。當需要時，如在習知井迴路配置中，資本成本超過項目總資本之10%，可能需要協商通行權，且約3°C熱損失及壓力損失會導致效率降低。

【0247】 相比之下，由於井環路係自前至後連接的，所以菊鏈消除了對近地面回流導管之需要。此外，成對之迴路彼此之間用作回流管道，成對之迴路利用廢熱作為輸入以產生上述預熱流。

【0248】 其他優點包括增大之功率產生而無地面破壞(佔地面積)，因為一切均在地下，且位置84之間的距離減小。若由於使用預熱之進料流設計之溫度升高而可使用較短之導管88，則此相應地降低了成本。

【0249】 實例中之井藉由使用所述隨鑽密封方法形成。將理解，井組配之任何組合可併入菊花型配置中。此外，破壞性技術之任何組合可用於形成菊花實例中之井筒及所有附圖中所示之任何其他組配。在某些附圖中，對附圖標記之編號包括對「n」之引用。一個實例為圖6，其具有表示為6n之區域。此表示可將任何數目(即n個)個其他孔豎直堆疊或以平行關係置放，或與所示之兩個孔平行置放。對於額外孔，孔類型可不同或相同。

【0250】 如藉由實施例所列舉的，本文闡述之技術基於能夠將地熱地層(無論滲透率如何)形成為能量有效之井筒以實現最大電導率之能力。當與高效之工作流體結合使用時，此種能力可帶來卓越之方法。

【0251】 井內之流體循環可以任何促進效率之方式及方向發生。此將部分由地層之性質決定，且將被熟習此項技術者判定及理解。

【0252】 現在轉至本發明之程序組之多方測距態樣，圖35描繪了多方測距方法中總體步驟之一般流程圖。

【0253】 圖36為大體用數字114表示之本發明之一個實施例之示意圖。在該實施例中，U形井包括一對間隔開之豎直井10 (入口)及20 (出口)及互連井16，其如先前實施例所示展示為互連井10與20之水平井。該井可為未使用之井中預先存在之井，即SAGD裝置，亦可為新鑽的。本文進一步論述之技術對於重新利用未使用之油井特別有用，且在即將進行之揭示中將變得顯而易見，所揭示之技術之許多態樣可像定位在地熱工業中一樣容易地附加或替換至現有之油氣環境中。

【0254】 在所示之實例中，複數個輔助橫向水平井16A、16B、16C及16D自接面40及40'延伸。以此方式，所有井16A、16B、16C及16D共同連接至相應之豎直井10或20。在U形井預先存在之情況下，信號裝置可沿著豎直井10、20及互連井16置放。此等裝置示意性地說明並由附圖標記116表示。合適之信號裝置可自此項技術中已知之多者裝置中選擇，且可包含接收器、傳輸器、收發器等。為了合適之裝置實例，可參考Baker Hughes、Scientific Drilling、Halliburton等作為參考。

【0255】 該等裝置可經修改或選擇為能夠監測以下各項中之至少一項：鑽井速率、井之間距、井至接面之連接完整性、鑽頭磨損、鑽井中之溫度及流體流速。

【0256】 此領域在此項技術中係成熟的，因此不需要詳細描述。

【0257】 在U形井不預先存在之情況下，可藉由在該過程中之適當時間在其中置放信號裝置而將該井作為初始基礎井進行鑽探，以將其永久留在原地或經定位用於與時間有關之擷取。

【0258】 一旦定位，此提供了「主控器」，用於與第二橫向(水平)井16B之定向鑽井進行信號通信。鑽井配置(未展示)可包括以下能力：作為自信號裝置116之從動器接收引導信號且沿著水平井16B之路線留下另外之信號裝置118。與鑽井裝置及信號裝置116及118之額外通信亦係可能的。

【0259】 已經建立了具有信號裝置118之第二井16B之後，接著其可充當用於第三橫向(水平)井16C之引導信令之主控器。對於此鑽井程序，先前引用之鑽井配置以類似方式起作用。沿著水平井16C之路線定位另外之信號裝置120。藉由此配置，第二井得益於以任何連續或不連續之順序一起或獨立地引導信號裝置116及118。應當理解，由於複數個感測器之定位及位置，此具有顯著減小鑽井期間軌跡漂移之效果。

【0260】 關於第三橫向(水平)井16C。鑽井裝置可包括以下能力：作為自信號裝置116、118及120之從動器接收引導信號且沿著水平井16C之路線留下其他信號裝置122。如同先前實例，此井受益於裝置116、118及120之引導。

【0261】 最後，在以上實例之精神下，信號裝置124可位於第四側(水平)井16D中，且與裝置116、118、120及122通信。

【0262】 應理解，信號裝置由於其對於最後之多邊井而言係累積的，因此逐漸減小了每一其他多邊段之漂移。此允許使用預先存在/未使用/廢棄之井，因為在多邊方案中初始井之重要性較低。隨著增強更多之橫向井以形成多邊配置，初始「主控器」地位之重要性降低。

【0263】 如先前技術中所描述的，該技術領域中之許多先前技術已集中

在SAGD環境中固有之雙井或注入及生產井系統上。然而，與該技術相關之精度允許在該技術之地熱領域中之特殊應用，且現在將闡述該能力中之參考。

【0264】 圖37為井之安置之俯視圖。

【0265】 現在參考圖38，展示位於地熱梯度G內之通常被稱為「堆疊」配置之井配置之變體。在此實施例中，堆疊中之每一多邊系統36可具有其自身的入口井10、10'、10''、10'''及出口井20、20'及20''。若可行，則每一堆疊可共同連接至單一入口井10及單一出口井20。堆疊配置之吸引力在於可在較小之佔地面積內實現更高之熱採收率。

【0266】 圖39說明被稱為「叉」配置之另一變體。在此配置中，可以間隔開之共面關係或間隔開之平行平面配置來配置多邊井系統36。此種配置適合於系統總佔地面積不成問題之情況。

【0267】 現在轉至圖40，說明相對於上述互連井16以徑向間隔開之陣列分散之多邊井16B、16C、16D、16E及16F之配置。該實施例中之配置係同軸的，但熟習此項技術者將理解其他變體。

【0268】 為了清楚起見，已經移除了若干部分，但應理解，井16B、16C、16D、16E及16F全部與豎直孔11及20及接面40及40'具有共同連接，井及接面未展示。此種徑向分散在地熱環境中具有特別之價值，因為可在給定之熱產生體積內提取更多熱。鑒於本發明中提出之定向鑽探進展，取決於周圍環境，此種配置係可能的且可定製的。

【0269】 圖41說明另一變體。在此實施例中，圖40所示之一對配置與類似之井16A'、16B'、16C'、16D'及16E'相互交叉。歸因於本文建立之鑽井方法之精度促進了交叉。此種配置增強例如地熱區內之熱採收，而不會影響佔地面積。此顯然具有資本支出之益處，但亦可在給定區域內提供更大之能源服務能力。

【0270】 圖42示意性地說明另一變體，其中來自圖41之一對配置係隔開

的，但處於熱接觸。

【0271】 為了減輕自井之根部至其趾部之溫度偏差，圖41及圖42所描繪之配置係有用的。舉例而言，參考圖41，井16A、16B、16C、16D及16E內之流體之流動方向可與井16A'、16B'、16C'、16D'及16E'內之流動相反。以此方式，一個井之根部將與另一井之趾部熱接觸。

【0272】 現在參考圖43，展示本發明之另一實施例。在此實施例中，單獨之多邊井40可在地層38內在地理上分散。此實施例連接多邊系統，例如36及36'，以在終點37處環回在一起以與出口井20連接。第二組多邊井36''及36'''可與多邊井36及36''共面或在平行平面中，並在39處環回。此配置之優點為入口/出口佔地面積48相對較小，但熱能採收能力非常重要。此允許在佔地面積48上之一個工位可多產，而無需大塊土地。

【0273】 在所有實例中，入口10及出口20將包括已知之輔助組件，即發電裝置、能量儲存裝置、與電網之鏈接配置(下文中論述)、熱電聯產系統等。為了清楚起見，已將其省略。此外，將理解，地熱系統將是閉合迴路，此意味著入口、接面、介入發電裝置之多邊井等，且出口井將形成連續之迴路，而最少連接導管安置在地上位置。可參考圖10對此進行一般性參考。

【0274】 輔助或介入裝置用數字50表示，其位於地面52上方。在該實例中，地面52以下之閉合迴路被放大。

【0275】 現在參考本發明程序組之功率及可調度性態樣，圖45說明用於實踐本文中將要描述之方法之實施例的總體配置之實例。數字130通篇指代總體配置。熱能溫度至少為90°C且可且通常高於150°C，或者甚至高於600°C或更高之地質地層38包括具有入口井10及出口井20之地下迴路配置，其可與至少一個互連區段16位於同一位置且互連。在該實例中，如同關於附圖之先前論述，描繪了若干區段16A、16B、16C。

【0276】 在地面52處，入口10及出口20連接至發電裝置50。裝置50將迴路配置完成為閉合迴路，為簡單起見，將其標記為L。顯而易見，為了自周圍地層38中採收熱能，區段16、16A等安置在地質地層內。為清楚起見，閉合迴路L，尤其是區段18，可包括流體可在其中輸送的裂隙、裂縫、裂紋，然而，此不會削弱閉合迴路概念之意義；儘管可能存在局部之多向流動異常，但流動模式在入口10、互連件16、出口20、發電裝置50之元件組合中維持閉合。

【0277】 地質地層可為提供如上所述溫度之任何地層。在此方面，實例包括地熱地層、低滲透率地層、熱乾岩石、沉積地層、火山岩地層、高溫地層、可變滲透率地層及其組合。此等僅為實例；任何其他數目均在本發明之範圍內。

【0278】 根據地層之性質，地層將具有預定之潛在熱輸出容量，可藉由熟習此項技術者已知之合適技術預先對其進行分析。當然，每一地層將具有不同之輸出容量。

【0279】 考慮到此，每一迴路L將具有預定之潛在熱輸出容量，此反映了其設計參數，諸如區段18之數目、其幾何配置、深度、長度、地層溫度、地層岩石性質，等等。所有此等參數對於熟習此項技術者將係顯而易見的。

【0280】 潛在之熱輸出容量為系統之最大可持續熱能輸出。可藉由本文揭示之方法臨時改變熱輸出，但長期平均輸出(即，數月或數年之平均)不能超過潛在之熱輸出容量。系統之整體效率等於平均熱輸出除以潛在之熱輸出容量(通常稱為「容量因數」)。具有高容量因數或可用潛在熱輸出容量之高利用係有利的。習知地，此係藉由恆定之熱輸出達到或接近潛在熱輸出容量來實現的。許多地熱系統以此方式以大於90%之容量因數操作，有時亦稱為「基本負荷」操作。所揭示之方法實現了高容量因數，同時亦提供了靈活的按需能量輸出而非恆定輸出。

【0281】 為了採收，工作流體循環穿過迴路L，且離開出口井20，流過發

電裝置50，該發電裝置將熱能及/或動能轉換成電能以供最終使用者使用，其通篇用數字132參考及/或在134處重新分配，用於在下文中論述之替代用途。一旦如所示進行循環，工作流體被重新引入至入口10。

【0282】 藉由在填充期間使工作流體以相對低之流速循環穿過閉合迴路L，來對工作流體進行熱「填充」或加載。工作流體在地下流動路徑中之停留時間增大，因此，流體藉由與周圍地層38之傳導熱傳遞而被加熱至高溫。

【0283】 藉由顯著增大流量並沖洗出閉合迴路L之熱地下部分內之受熱工作流體之量，對系統進行「排放」。在排放循環中，熱輸出可能會在相對較短持續時間(<24小時)內暫時超過潛在熱輸出容量，此係由於充熱流體之地下體積較大且系統具有瞬態性質。

【0284】 工作流體可包含水、超臨界二氧化碳等，且包括減阻添加劑，諸如界面活性劑、聚合物、懸浮液、生物添加劑、穩定劑、防垢劑、抗結垢劑、腐蝕劑、減摩劑、防凍化學品、殺生物劑、烴、醇、有機流體及其組合。熟習此項技術者將理解其他合適之實例。可預期，在不斷改變的地下熱特性指示之情況下，可動態地對工作流體組分進行修改。

【0285】 現在參考圖46A、46B、46C及46D，其為先前被稱為多邊系統36之互連區段16之可能配置及組合之示意圖。該圖大體展示鄰近互連區段在其隔離或成組網路組合中可對稱、相對於鄰近互連區段不對稱、相對於鄰近互連區段呈叉指關係、相對於鄰近互連區段共面、相對於鄰近互連區段平面平行。具體之幾何安置將隨溫度梯度特性而變化。此等圖僅為例示性的；適當之變化將由設計者理解。

【0286】 圖47說明了一個實例，其中迴路L包括複數個互連區段16或多邊系統36，其中一個區段16/36之輸出136用作在發電裝置50處具有公共集合之相鄰區段16/36之輸入10。以此方式，迴路L被細分為用於該方法之操作的菊鏈組配。

【0287】 圖48說明使用申請人之共同待決之PCT/CA2019000076等中描述之閉合迴路多邊系統之實例。充熱或熱加載循環包括使工作流體(其實例可為如上文所述之水)以大約40 L/s之速度循環，持續16小時(通常係自12:00 AM至4:00 pm完成)。此允許互連區段16等(在先前之附圖中參考)自地層採收熱能。該時間範圍係預定駐留時間之一個可能實例，僅用於指導目的。

【0288】 排放循環包括在8小時內將流速提高至大約160 L/s。在此實例中，該過程將在4:00 PM至12:00 AM之高峰晚上使用者用電期間發生，且與電網中之太陽能(未展示)隨著太陽落山而迅速下降之時段相吻合。

【0289】 圖49說明3日時間範圍內之重點細節。流速(黑色)說明填充及排放循環。WHT為退出出口井16之流體溫度。dH為焓之變化。

【0290】 自圖中，若系統以基本負載方式操作，則在組合之填充/排放循環內之平均流速大約等於最佳固定流速。在此實例中，若以基本負載方式操作，則與先前附圖中所述之相同地下井配置在流量等於80 L/s時將產生最大電力。在白話語中，系統將在全部地下潛在熱輸出容量下操作。此係與某些先前技術(Puna之Ormat)之關鍵區別所在，在先前技術中，「填充」及「排放」組合循環之平均地熱輸出顯著低於長期發電量。

【0291】 填充循環建立了強大之熱虹吸管，該熱虹吸管由入口井10中之冷流體與出口井20中之熱流體相比之密度差驅動。在填充循環期間，熱虹吸管壓力驅動高於維持所要流速所需要的壓力。因此，使用流量控制閥或其他設備(未展示)施加壓力降，可藉由阻塞出口井20下游之流量來控制流量。

【0292】 在排放時，可藉由鬆開節流閥(打開控制閥)來立即增大流量。流量之此種近乎瞬時之增大實現了快速爬升能力。可增大流量，直至穿過閉合迴路之液壓損失等於熱虹吸壓力驅動為止。

【0293】 可使用泵將流量增大至超過此水準，此將需要寄生功率負載。

然而，只要大部分壓力驅動係藉由熱虹吸效應產生的，則寄生負載實際上係可接受的。

【0294】 使用此等方法，可經由迴路中工作流體之填充及排放循環以及駐留時間兩者來控制流速，以使功率輸出與最終使用者需求相匹配。

【0295】 在先前技術之傳統開放式地熱系統中或在多孔介質中流動時，在排出時達到高流速所需之泵送壓力導致了不可接受之高寄生泵負荷，且大大降低或消除了淨功率輸出之任何增益。已發現，當迴路中之壓力損失與熱虹吸壓力驅動之比約為1.5時，達到了實際極限。該系統之液壓損失必須設計為小於熱虹吸壓力驅動之1.5倍。理想情況下，壓力損失小於熱虹吸驅動之1倍，且整個流量由熱虹吸驅動。因此，不存在寄生泵負載。

【0296】 能量儲存在工作流體本身內。在填充循環期間，需要足夠之停留時間來加熱工作流體，以適應排放循環。舉例而言，若排放循環通常為8小時長，則流體迴路傳輸時間必須至少為8小時(在排放及填充循環兩者上平均)。

【0297】 在填充循環期間，能量亦可暫時儲存在與地下流動路徑及出口井16鄰近的岩石中。在低流速下，熱自地層12中較熱岩石傳導性地傳輸至工作流體中，且流體經由系統前進，遇到較冷之岩石(通常較淺，例如在出口井16中)，在此處，能量自流體傳遞至較冷之岩石並暫時儲存。在排放循環期間，平均流體溫度下降，所儲存之熱傳回至工作流體中。

【0298】 閉合迴路避免了傳統地熱系統之操作問題，如本文所述，傳統地熱系統在急劇改變流量時加劇了該問題。舉例而言，常見之操作問題係由鹽水、固體、結垢、堵塞及氣體溶解引起的。

【0299】 本文揭示之可調度性與低溫空氣儲存(CES)很好地整合。流程實例如下所示。CES填充循環可使用低廉之電網多餘電能或共置可再生能源(例如，高峰時段之太陽能)。CES亦可使用所產生之地熱能進行填充，但此並非必需

的。在一個實施例中，地熱系統將在整個填充及排放循環中產生固定量之電。在渦輪中膨脹之前，在排放循環期間產生的熱能增大係為了加熱CES過程中之氣流。

【0300】 當將CES與可調度地熱一起使用時，存在若干優點：熱引擎(將熱能轉換為電能)之大小僅適用於填充循環，而無需適用於排放循環之峰值輸出，從而顯著降低了設備及資金成本。

【0301】 需要少量之額外設施來向CES設施供熱。CES僅在一日中之幾個高峰時段排放。可調度地熱系統排放循環可與CES排放循環相匹配。

【0302】 圖50說明本發明之一個實施例，該實施例被設計為利用間歇性電源來減輕電網飽和。在該實例中，太陽能採收配置138可操作地連接至迴路L(迴路配置或解決方案)，且更具體地在142處連接至陣列140。發電裝置50與具有特定容量之電網(未展示)電連通。此通常由參考數字144表示。

【0303】 對於以下實例，迴路配置或迴路解決方案旨在涵蓋本文先前論述之配置，即載熱地質地層中之井10、20及互連件16，其可包括發電裝置22。

【0304】 太陽能在當今向新型清潔能源之轉變中處於領先地位。然而，成功會帶來其自身之複雜性。現在，許多電網已經充滿了風及太陽能，以至於愈加難以吸收更多之間歇性電源。需要一種可擴展形式之綠色可調度電源。幸運地，該解決方案現已到來。其被稱為Eavor-Light，與吾人之某些其他解決方案不同，其係專門為補充新的甚至現有之太陽能發電廠而設計的。

【0305】 典型10 MW迴路L單元將5 MW地下基本負載解決方案與ORC及規模擴展至10 MW之地面設施相結合。此係為了促進由迴路L產生之能量之固有可調度性。接著，可藉由簡單地添加更多迴路配置L來進一步縮放。舉例而言，200 MW迴路L配置具有以下操作資料。

實例 - 減輕電網飽和度

迴路配置	峰值容量(MW)	平均利用率(MW)	負載因數(%)
太陽能容量	200	40	20%
迴路容量	200	100	50%
傳輸能力	200	140	70%
僅太陽能	峰值容量(MW)	平均利用率(MW)	負載因數(%)
太陽能容量	700	140	20%
迴路容量	0	0	N/A
傳輸能力	700	140	20%
太陽能+電池	峰值容量(MW)	平均利用率(MW)	負載因數(%)
太陽能容量	700	140	20%
電池容量(8小時)	200	N/A	N/A
傳輸能力	200	140	70%

僅太陽能解決方案

【0306】 對於200 MW之太陽能發電廠，由於其間歇性，其平均發電量僅為40 MW。若希望將平均發電量平均提高3.5倍或額外增加100 MW，則出於太陽能負載因數不斷提高之原因，必須添加一個額外500 MW之太陽能發電廠及額外500 MW之輸電能力，其原因簡單：太陽能負載因數將介於10%至25%之間。遺憾地，此不僅需要增大3.5倍之地面佔地面積，亦需要將傳輸網路升級3.5倍(或更不希望地，為新太陽能發電廠建造新傳輸線)。此由於以下原因而進一步惡化：大部分增加之產能將在一日中之某些時候產生，而此等時候可實現遠低於平均價格之價格。

迴路解決方案

【0307】 相比之下，藉由將200 MW迴路解決方案直接併入當前或計劃中之太陽能發電廠之現有地面佔地面積下，可獲得相同之結果。有利地，不需要新的土地徵用。此外，由於迴路配置將利用其固有之可調度性來產生約20%之太陽能發電廠負載因數之功率，因此無需任何額外傳輸容量，從而節省時間及資金。最後，雖然迴路將無傳輸能力在中午左右太陽能生產高峰期間產生很多，但由於對於可調度而非間歇性或基本負載電力達成之定價溢價，午間生產(通常價值不大)可轉移至有吸引力之貨幣化上。

太陽能+電池解決方案

【0308】 當然，太陽能可藉由添加足夠之電池來模仿迴路解決方案，但成本很高。替代僅添加200 MW之迴路解決方案，太陽能開發商將需要添加500 MW之太陽能容量(從而需要大量擴展之地面佔地面積)及200 MW之8小時電池儲存空間(從而不可避免地增大成本及延誤)。

【0309】 作為實例之變體，圖51描繪使用風車146作為原動機之配置。

【0310】 現在參考圖52，說明該實例之另一變體。數字150表示地理區域，在該地理區域上配置了配電中心152，以將電力遞送通道154提供至輸電電網(未展示)。眾所周知，電網具有輸出容量。中心152對地理區域150上之電力生產系統做出貢獻，該電力生產系統具有設計之最大電力生產量及電網上之第二有效或「實際」電力生產量。

【0311】 顯然，在中心152之間的廣闊區域150上，由於熟習此項技術者已知之各種原因(例如，大量使用者需求之高峰或中心152之間的重新分配)，偶爾會出現「電力不足」或其他遞送異常。

【0312】 為了緩解不一貫之遞送問題，可將迴路配置L整合在中心152之迴路上，諸如在鄰近輸電中心152之間。如本文之先前實例及說明書中所述，閉合迴路組配可在基礎地質地層中提供能量，以自歸因於地層之可用潛在熱容量產生預定能量輸出。

【0313】 接著，工作流體可如已論述般循環，且選擇性地經由該電力產生配置50進行熱排放，以將電力產生維持在整個該輸電電網之容量。因此，此緩解了上文指出之異常或不規則性。

【0314】 取決於地理區域及其他因素，包含複數個迴路配置L之主分配中心156可增強或替換中心152及各別定位之迴路L之一些或全部。

【符號說明】

【0315】

- 10,10',10'',10''',10'''' : 入口井
- 11,20,20',20'': 豎直孔
- 12: 地面套管
- 14: 中間套管
- 16: 橫向區段
- 16A,16A',16B,16B',16C,16C',16D,16D',16E,16E',16F: 井
- 18: 孔隙
- 22: 發電機/襯管/未密封之岩石面
- 24,112: 套管
- 26: 裂隙、裂縫、劈裂平面等
- 28: 化學襯管組合物
- 30:包套區段
- 32: 入口
- 34:出口
- 36,36', 36'',36''' : 多邊井系統
- 38: 地熱地層
- 40,40': 接面
- 44: 延伸區段
- 46,54: 末端
- 48: 入口/出口佔地面積
- 50: W形井
- 52: 地面
- 56: 單工位配置
- 60: 未反應之密封劑

- 64: 井迴路
- 66: 電力循環
- 68: 熱交換器
- 70,78: 發電機
- 72: 過程示意圖
- 74: 空氣冷卻器
- 76: 渦輪
- 80: 橫向互連區段
- 82: 井菊鏈
- 84: 地面位置
- 86: 注入井
- 88: 互連段
- 90: 生產井
- 92: 點劃線
- 94: 集中位置
- 96: 鑽柱
- 98: 流體
- 100: 管道
- 102: 回流流體
- 104,110: 環道
- 106: 鑽頭
- 108: 岩石
- 114: 本發明之一個實施例
- 116,118,120,124: 信號裝置

- 122:裝置
- 130: 總體配置
- 132: 電能
- 136: 輸出
- 138: 太陽能採收配置
- 140: 陣列
- 144:電連通
- 146: 風車
- 150: 地理區域
- 152: 配電中心
- 154: 電力遞送通道
- 156: 主分配中心
- G: 地熱梯度

【發明申請專利範圍】

【請求項1】 一種用於自具有預定可用潛在熱容量之一地質地層採收能量之方法，其包含：

以一預定鑽井及密封序列，使用一破壞機構在該地層中鑽井，以在其中形成一主井筒，該主井筒具有在該主井筒與該地層之間的一實質上不可滲透之界面；

藉由電磁制導至少自該主井筒鑽出後續井筒；

選擇性地利用累積信號及來自經鑽出之後續井筒之個別信號中之至少一者來指導鑽井，以在該地層內形成一預定井筒圖案；

經由一入口井及一出口井將該等井筒之該預定圖案在該地層之數個熱區內以一閉合迴路配置來鏈接至一能量採收裝置，以在該等井與該裝置之間以一閉合迴路自該迴路配置採收能量，該閉合迴路配置具有在該地層之該可用潛在熱容量內的一預定能量輸出；

使具有一預定組成之一流體組合物以一預定停留時間在該閉合迴路配置內循環，以形成一充能流體，及

經由該充能工作流體與該能量採收裝置之間的相互作用，按需向一最終使用者產生能量。

【請求項2】 如請求項1所述之方法，其中該定序鑽井操作密封了任何(若存在)預先存在之裂隙、裂縫、裂紋或其他地質異常，及由於鑽井而形成之任何裂隙、裂縫、裂紋或其他地質異常，以形成所述界面。

【請求項3】 如請求項1或2所述之方法，其進一步包括：在至少50°C之地層溫度中進行該方法。

【請求項4】 如請求項1至3中任一項所述之方法，其進一步包括：在大於400°C之地層溫度中進行該方法。

【請求項5】 如請求項1至4中任一項所述之方法，其進一步包括：在一鑽井

操作期間選擇性地修改下列之至少一個參數：

- i) 鑽進速率；
- ii) 用活性冷卻劑對鑽面之預調節；
- iii) 鑽井破壞機制選擇；
- iv) 所選井筒之間的電磁通信；
- v) 該等井筒之鑽井方向；
- vi) 閉合迴路配置之聯網；
- vii) 閉合迴路配置之接近度；
- viii) 循環流體組成、流動方向、停留時間、流速；
- viiv) 組成上不同的循環流體之流動循環；
- x) 循環的組成上不同的循環流體之停留時間；及
- xi) i)至x)的任何數目及順序之組合。

【請求項6】 如請求項5所述之方法，其中該鑽進速率之參數包括：鑽井設備在鑽井期間之改變的衝擊力及轉速。

【請求項7】 如請求項5所述之方法，其中該用活性冷卻劑對鑽面之預調節之參數包括：利用一相變材料進行冷卻。

【請求項8】 如請求項7所述之方法，其進一步包括以下至少一步驟：i) 在鑽井之前，用該相變材料預冷卻待鑽之一岩面；ii) 在鑽井期間，用該相變材料冷卻；iii) i)與ii)步驟之連續定序組合；及iv) i)與ii)步驟之不連續定序組合。

【請求項9】 如請求項5所述之方法，其中該鑽井破壞機制選擇包括：在正在鑽出之一井筒之鑽井期間，藉由對該井筒誘發不可逆之地層損害，在該井筒與該被鑽地層之間形成實質上不透流體之一導熱界面，同時使用一熱機制、機械機制、化學機制及生物機制中之至少一者來鑽出該井筒，在一所形成界面與該井筒之間不存在輔助材料。

【請求項10】如請求項5所述之方法，其中該所選井筒之間的電磁通信之參數包括：

- a) 提供一U形井，其具有數個與一水平井互連之隔開的豎直井筒；
- b) 在該U形井內建立一信號路徑；
- c) 自該等豎直井筒中之至少一者鑽出一第二水平井；
- d) 自該U形井感測一信號；
- e) 基於來自步驟d)之一感測信號，沿著相對於該第一水平井之一預定路徑來引導該第二水平井之該鑽出步驟；
- f) 用鑽出之第一井及第二井形成一發信對；
- g) 自該等豎直井筒中之至少一者鑽出一第三水平井；
- h) 感測來自該發信對、該U形井及該第二井中之至少一者之一信號；及
- i) 基於來自步驟h)之一感測信號，沿著相對於該第一水平井及該第二水平井之一預定路徑來引導該第三水平井之該鑽出步驟。

【請求項11】如請求項5所述之方法，其中該所選井筒之間的電磁通信之參數包括：

建立連接至數個豎直井之一主要水平井筒；

利用來自前驅水平井筒之累積及組合感測器引導，自該主要水平井筒之該等豎直井鑽出每一後續水平井筒，由此，相對於一第一個鑽出的水平井筒，自一最終鑽出之井筒之軌跡漂移係大大減小。

【請求項12】如請求項5所述之方法，其中閉合迴路配置之聯網之參數包括：在一中心位置處共同連接數個出口井。

【請求項13】如請求項5所述之方法，其中閉合迴路配置之聯網之參數包括：在一第二位置處將一閉合迴路配置之一出口井與一第二閉合迴路配置之一入口井連接。

【請求項14】如請求項5所述之方法，其中該閉合迴路配置之接近度之參數包括：使閉合迴路配置豎直堆疊、使閉合迴路配置相互交叉及其組合中之至少一者。

【請求項15】如請求項1至14中任一項所述之方法，其中該鑽井操作包括：定序鑽井且同時利用以該相變材料鑽井來密封一地層中之孔隙，隨後密封該孔隙；及

用該相變材料冷卻在該地層中鑽出之一岩面，以相對於該相變材料不存在時之鑽進速率來增大在該地層之鑽井期間之鑽進速率。

【請求項16】如請求項15所述之方法，其進一步包括以下步驟：密封該地層中預先存在或由鑽井產生之裂隙、裂紋及空隙。

【請求項17】如請求項15所述之方法，其中定序鑽井且同時密封孔隙之操作利用了一鑽井流體中之一鹼性矽酸鹽組合物。

【請求項18】如請求項15所述之方法，其中定序以一交替順序進行。

【請求項19】如請求項15所述之方法，其中該孔隙之密封在被鑽之該地層與一鑽出之井筒之周邊之間形成一界面。

【請求項20】如請求項19所述之方法，其進一步包括以下步驟：使一化學組合物在該鑽井內循環，該化學組合物能夠誘發與該界面形成沉澱物，以增強該界面之密封能力及機械完整性。

【請求項21】如請求項20所述之方法，其進一步包括以下步驟：使一流體在經密封之該井筒中循環，該流體含有一界面維持添加劑，以在該工作流體在該井筒中循環之期間維持不滲透率。

【請求項22】如請求項15所述之方法，其中在該地層中鑽井包含：鑽出一入口井、一出口井及一互連井，以與一輔助裝置形成一閉合迴路，且至少有該互連井安置在該地層之一熱生產區域內。

【請求項23】如請求項5所述之方法，其進一步包括：基於地層岩石孔隙率、地層岩石類型、地層溫度、鑽井深度、地質地層、該地層中之斷層、地質異常及在實踐該方法時遇到的一群變化中的每一者或至少一些來選擇性地修改。

【請求項24】如請求項1至23中任一項所述之方法，其進一步包括以下步驟：形成複數個閉合迴路配置以採收可用之潛在熱容量。

【請求項25】如請求項24所述之方法，其進一步包括以下步驟：以一預定圖案鏈接該複數個閉合迴路配置。

【請求項26】如請求項25所述之方法，其進一步包括以下步驟：鏈接閉合迴路配置之分立預定圖案。

【請求項27】如請求項26所述之方法，其進一步包括以下步驟：在一局部網路、一分散網路、與鄰近之閉合迴路配置熱接觸之一嵌套群組中之至少一者及其組合中來鏈接閉合迴路配置之分立預定圖案。

【請求項28】如請求項26所述之方法，其進一步包括以下步驟：藉由一個閉合迴路配置之一入口井與一鄰近之閉合迴路配置之一出口井來鏈接閉合迴路配置之分立預定圖案。

【請求項29】如請求項1至28中任一項所述之方法，其進一步包括以下步驟：以一預定停留時間使該流體在該閉合迴路配置迴路中循環，以經由來自該地層之傳導來熱加載循環流體；及

基於使用者之能量需求來調適熱加載流體在該迴路內之流速。

【請求項30】如請求項1至29中任一項所述之方法，其進一步包括以下步驟：用來自該地層中相鄰之閉合迴路配置之充能流體來補充該流體。

【請求項31】如請求項1至30中之任一項所述之方法，其中該閉合迴路配置包括一入口井、一出口井及其間的用於流體連通之一互連區段，其中該互連區段被包套、不包套、加襯、化學處理、化學密封、熱密封，包括呈一連續或不連續

組配之單管、同軸管及其組合。

【請求項32】如請求項1所述之方法，其進一步包括以下步驟：促進經由一發電設備中之該流體之熱排放而送到一最終使用者的按需能量遞送，該按需能量遞送暫時超過該預定能量輸出，同時維持所遞送之一能量輸出平均值在一預定時間範圍內等於該可用潛在熱容量。

【請求項33】如請求項32所述之方法，其中對於一暫時持續時間之能量遞送係相對於整個預定時間範圍而言使用者需求較高之一時間範圍。

【請求項34】一種用於最佳化一預先存在之電網上的配電之方法，其包含：
在該預先存在之電網上提供具有一設計最大發電量及一第二有效發電量之一間歇性發電配置；

在鄰近該間歇性發電配置之一載熱地質地層內定位一能量採收及生產之閉合迴路，該迴路包括一入口井、一出口井、在該入口井與該出口井之間的互連區段，該互連區段定位於該地層中以促進該地層中之熱採收，該地層具有一可用潛在熱容量，該閉合迴路係根據如請求項1之方法而形成；

將該閉合迴路以一組態定位在該地層內以自該可用潛在熱容量產生一預定能量輸出；

使一工作流體以一預定停留時間在該迴路內循環，以經由來自該地層之傳導對循環之工作流體進行充熱；及

經由該間歇性發電配置來選擇性地排放該工作流體，以將發電量增大至高於該第二有效發電量且低於該設計最大發電量之一量，從而使用該預先存在之電網來最佳化總發電量。

【請求項35】一種能量採集場，其包含：

在一熱生產地質地層內的一能量採收及生產之閉合迴路系統，其利用一工作流體來採收熱能；

一間歇性發電配置，其在一預先存在之電網上且具有一設計最大發電量及一第二有效發電量；

一能量處理裝置，其用於處理可操作地連接至該閉合迴路系統的經採收熱能；及

一分配控制系統，其用於經由該間歇性發電配置來選擇性地熱排放該工作流體，以將發電量增大至高於該第二有效發電量且低於該設計最大發電量之一量，從而使用該預先存在之電網來最佳化總發電量。

【請求項36】如請求項35所述之能量採集場，其中該閉合迴路系統包含複數個閉合迴路，該複數個閉合迴路具有以下各者中之至少一者：共置之入口井、共置之出口井、一共同入口井、一共同出口井、共同地連接至一各別閉合迴路之一出口井及一入口井的多個橫向互連井、豎直堆疊之閉合迴路、一第一閉合迴路之一出口井連接至一第二閉合迴路之一入口井的閉合迴路、相鄰之閉合迴路系統之相互交叉的多個橫向互連井，及其組合。

【請求項37】如請求項35或36所述之能量採集場，其中該間歇性發電配置包含一太陽能採收配置、一風能採收配置、一電池能量配置中之至少一者及其組合。

【請求項38】一種能量採集場，其包含：

在一熱生產地質地層內的一能量採收及生產之閉合迴路系統，其利用一工作流體來採收熱能，該地層具有一可用潛在熱容量；

一預先存在之電網；

一能量處理裝置，其用於處理可操作地連接至該閉合迴路系統的經採收熱能；

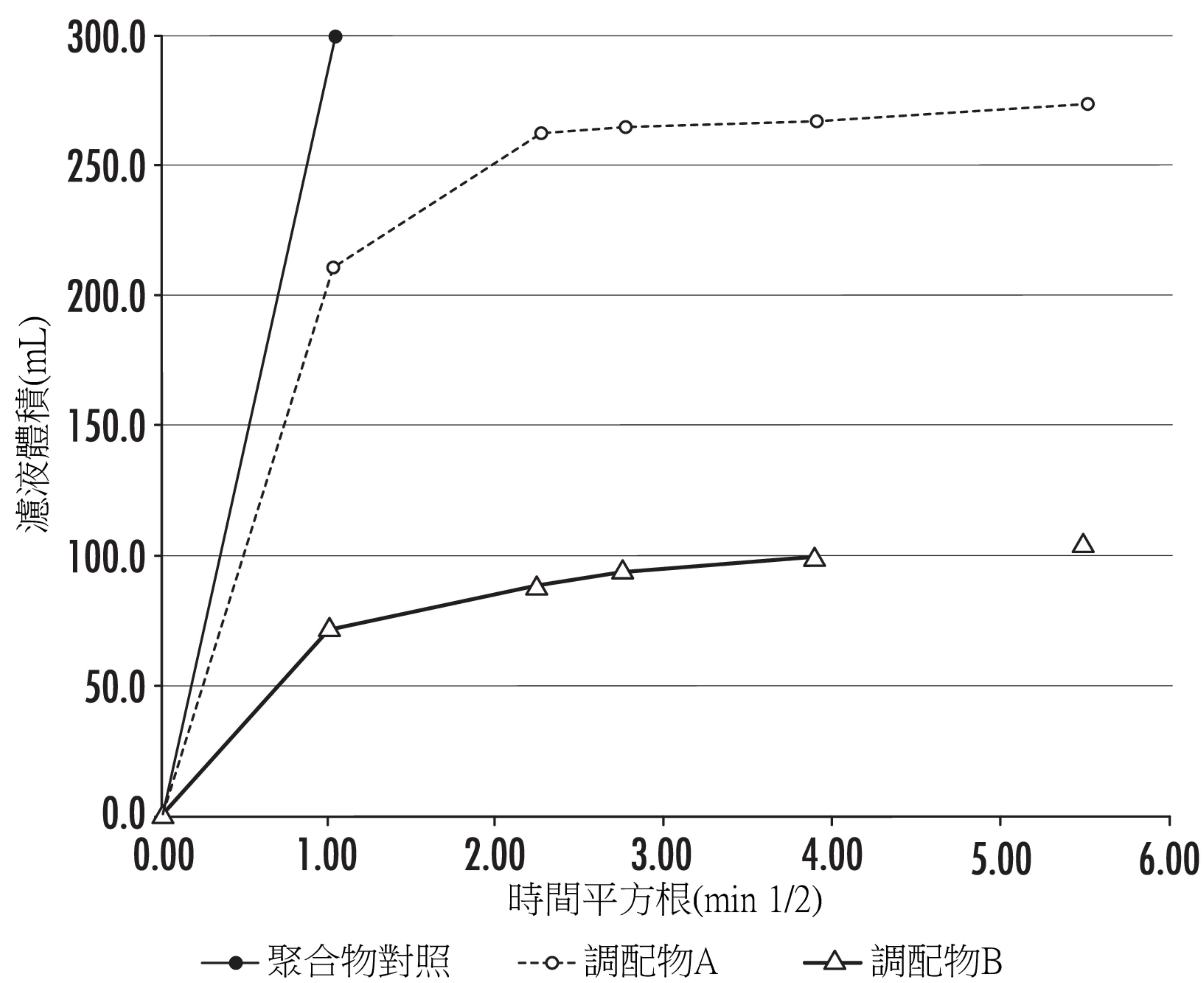
一分配控制系統，其用於經由該能量處理裝置來選擇性地熱排放該工作流體；

一遞送系統，其用於促進經由該能量處理裝置中之該流體之熱排放而送到一最終使用者的按需能量遞送，該按需能量遞送暫時超過該地層之一預定能量輸出，同時維持所遞送之一能量輸出平均值在一預定時間範圍內等於該可用潛在熱容量。

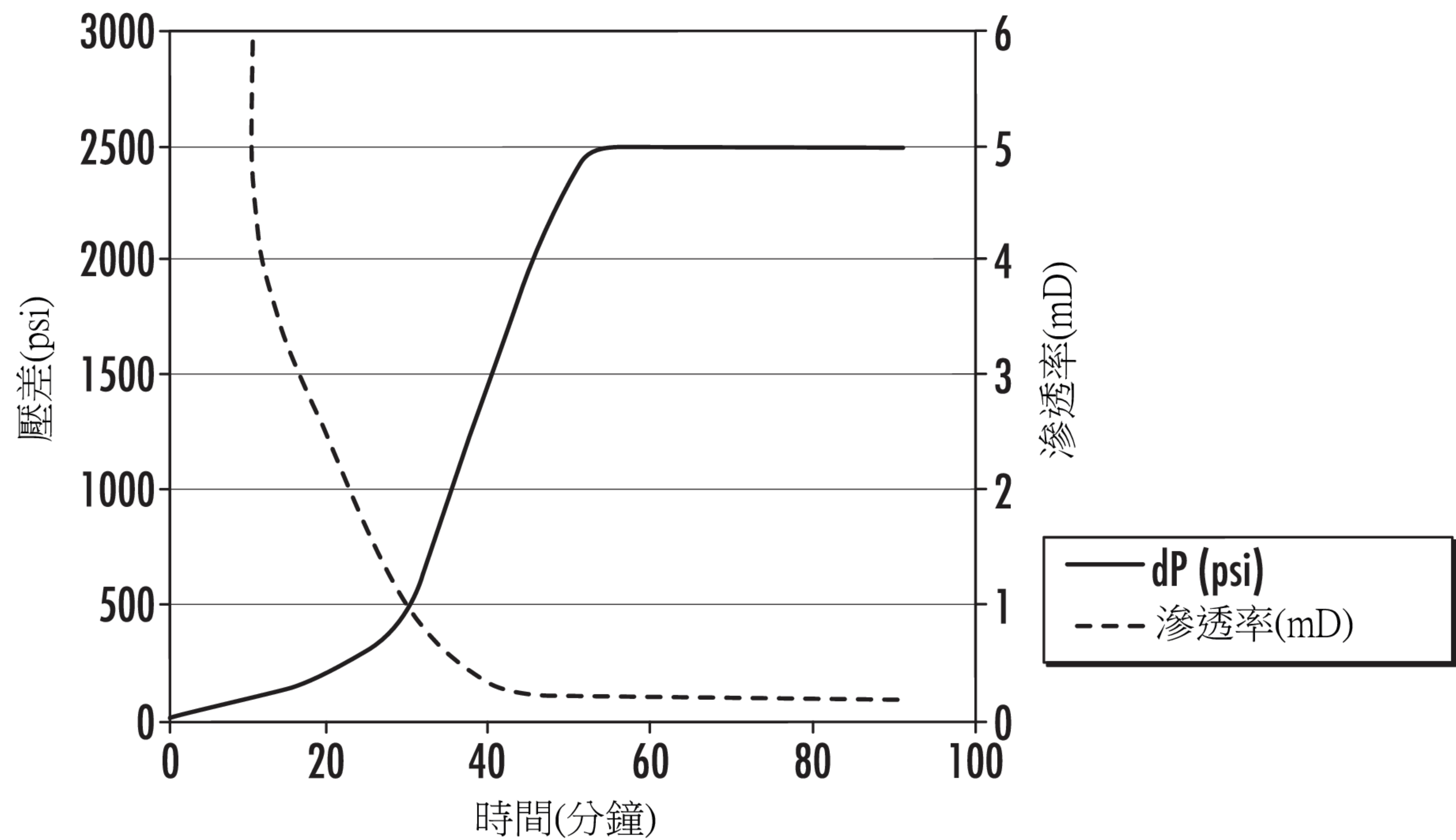
【請求項39】如請求項38所述之能量採集場，其中該分配控制系統及該遞送系統中之至少一者可操作地連接至複數個能量採收及生產之閉合迴路系統。

【請求項40】如請求項39所述之能量採集場，其進一步包括一中央傳輸樞紐，該中央傳輸樞紐可操作地連接至複數個分立之能量採集場，以在該等場之間重定向可遞送之能量。

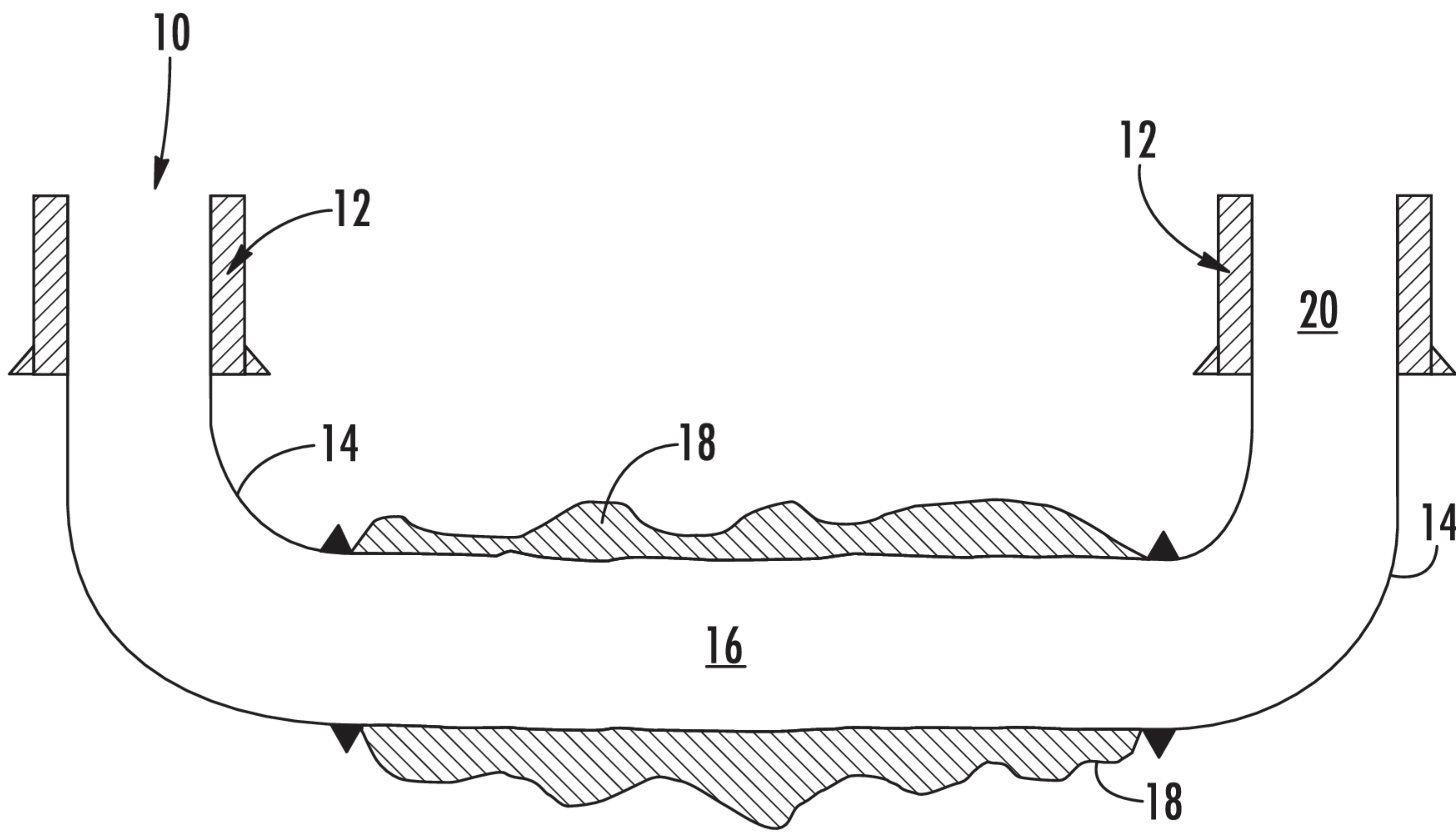
【發明圖式】



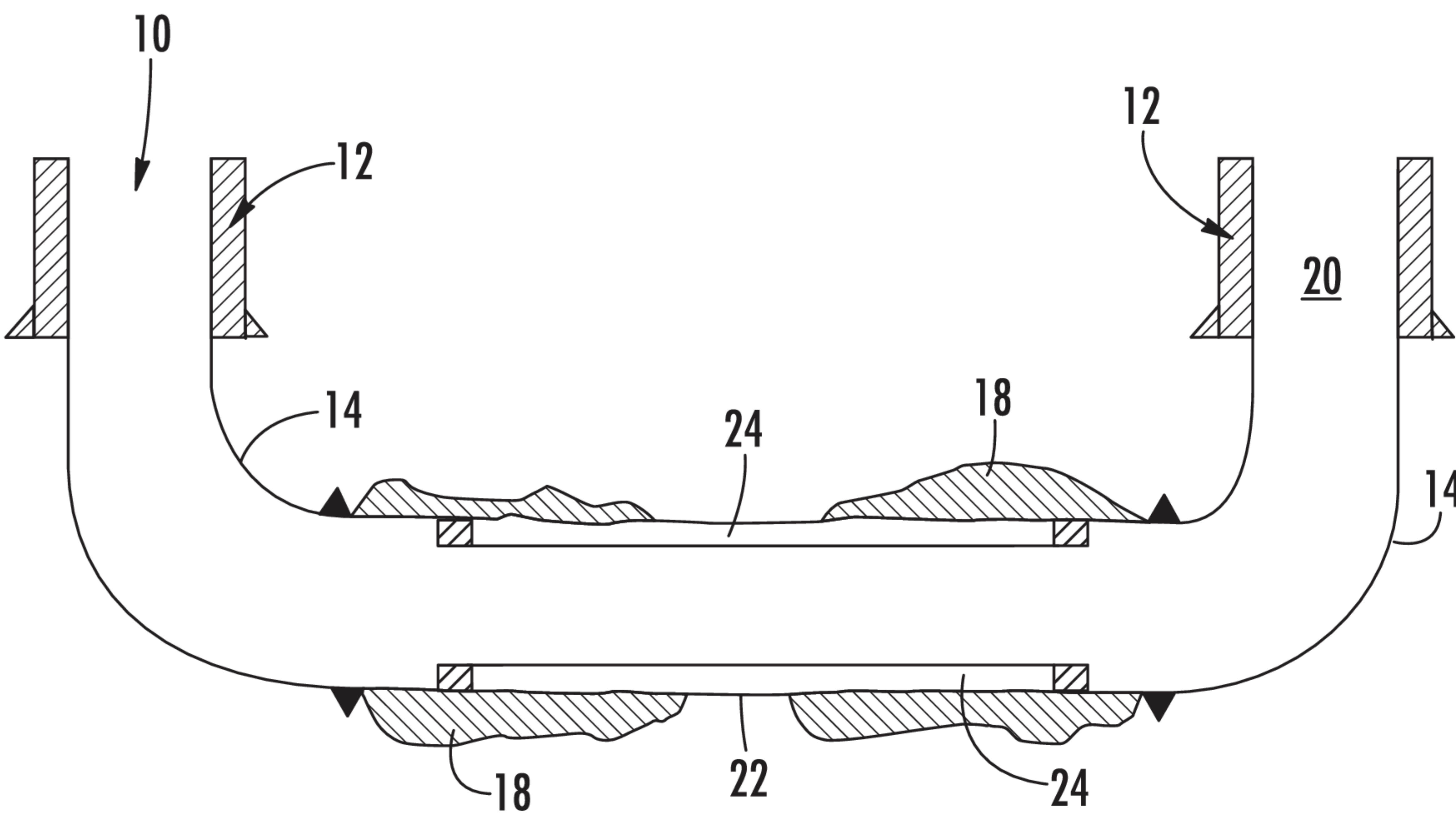
【圖 1】



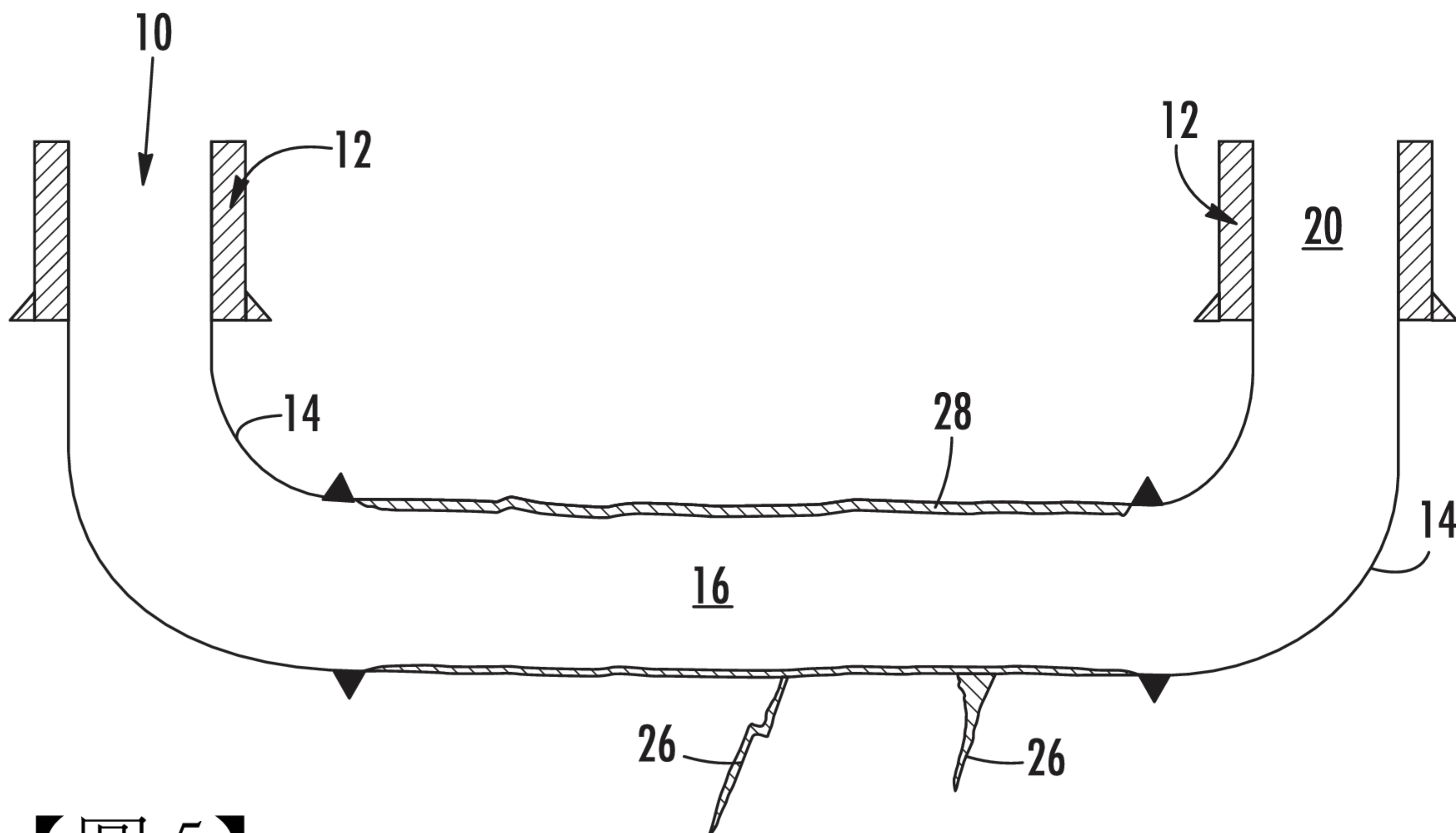
【圖 2】



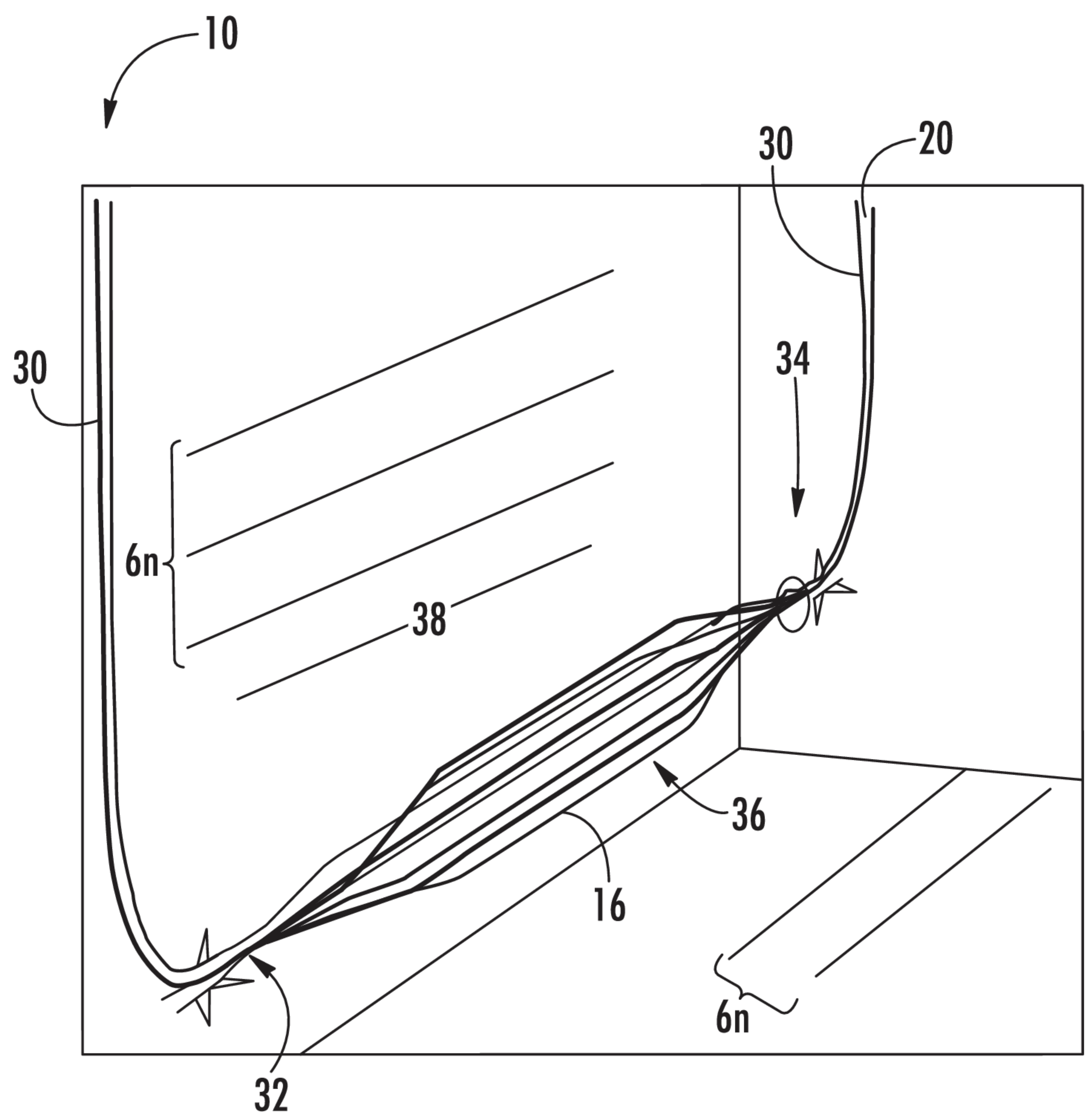
【圖 3】



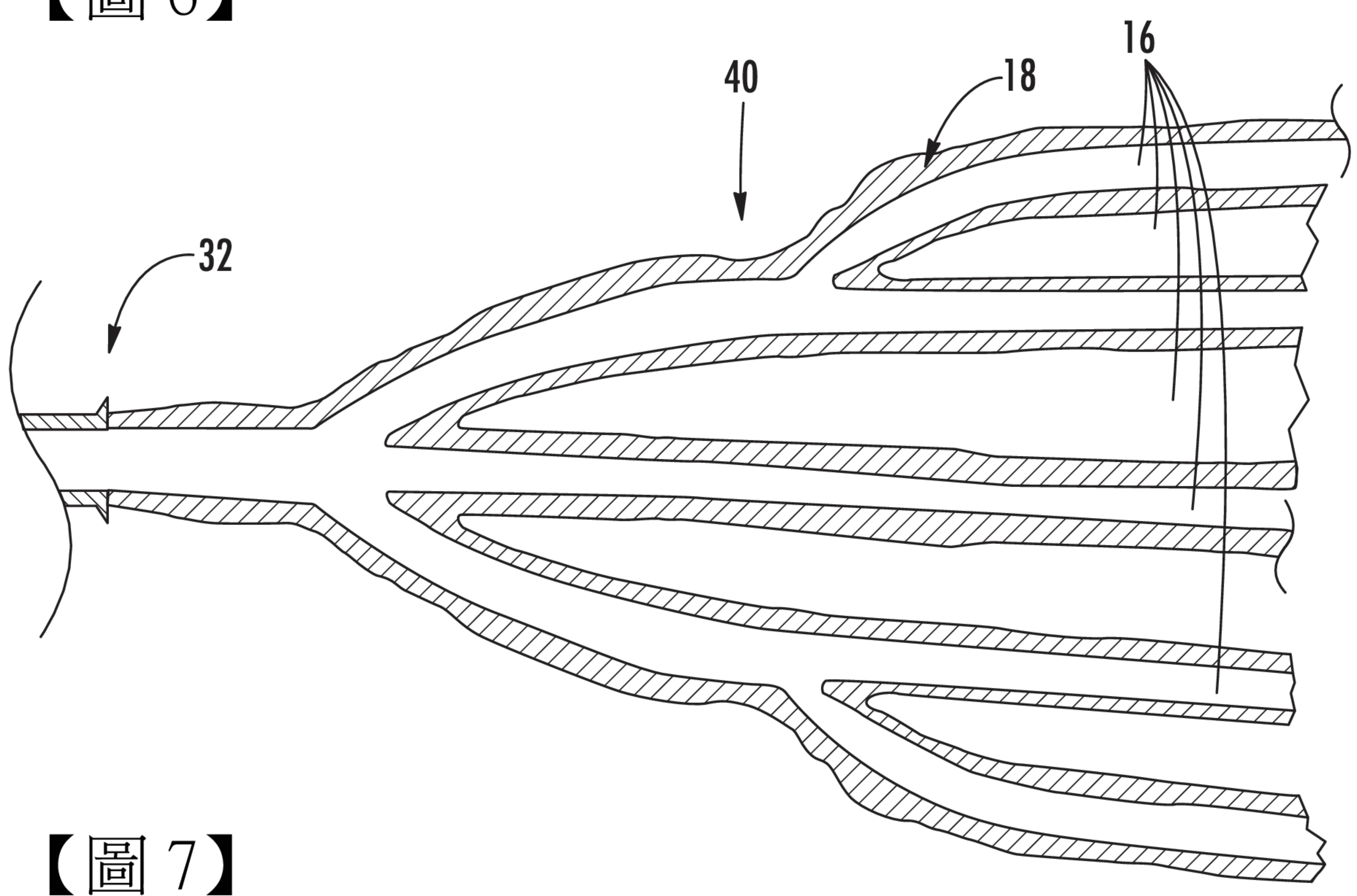
【圖 4】



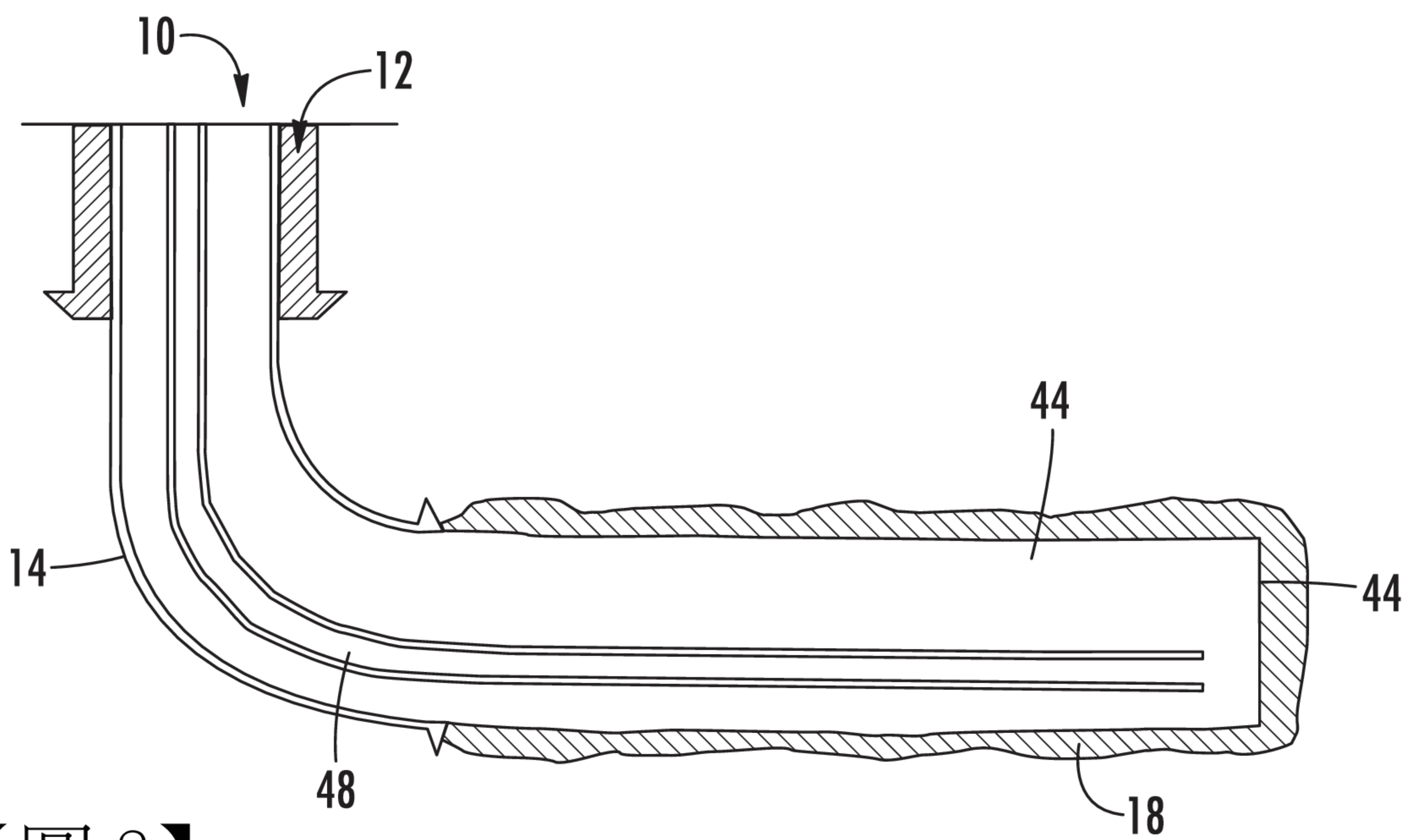
【圖 5】



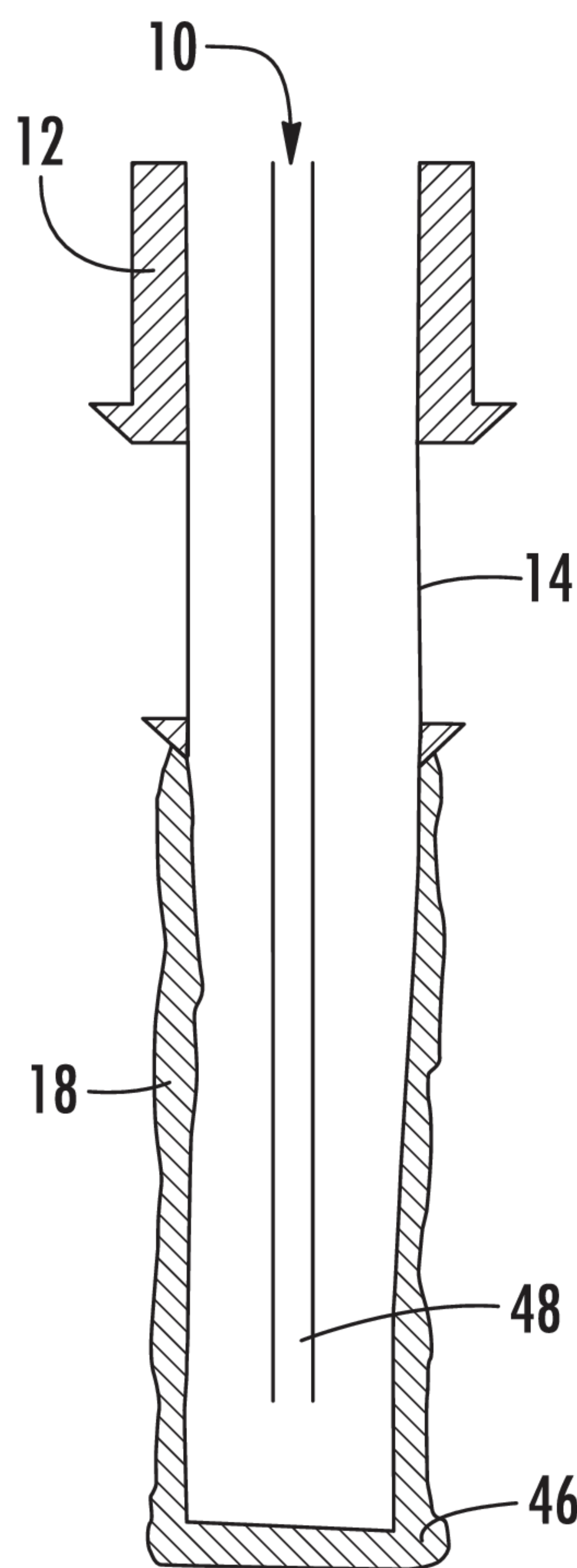
【圖 6】



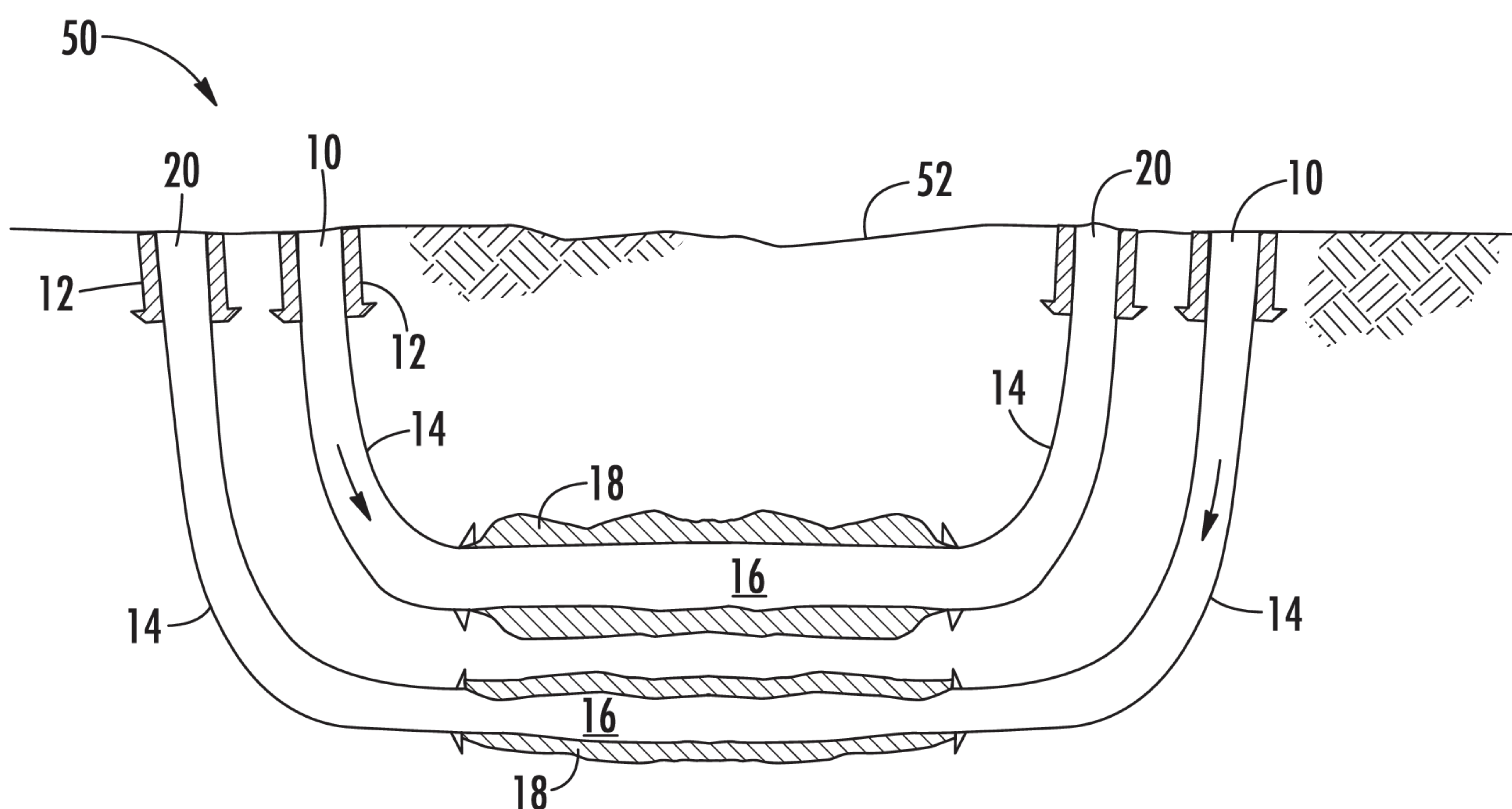
【圖 7】



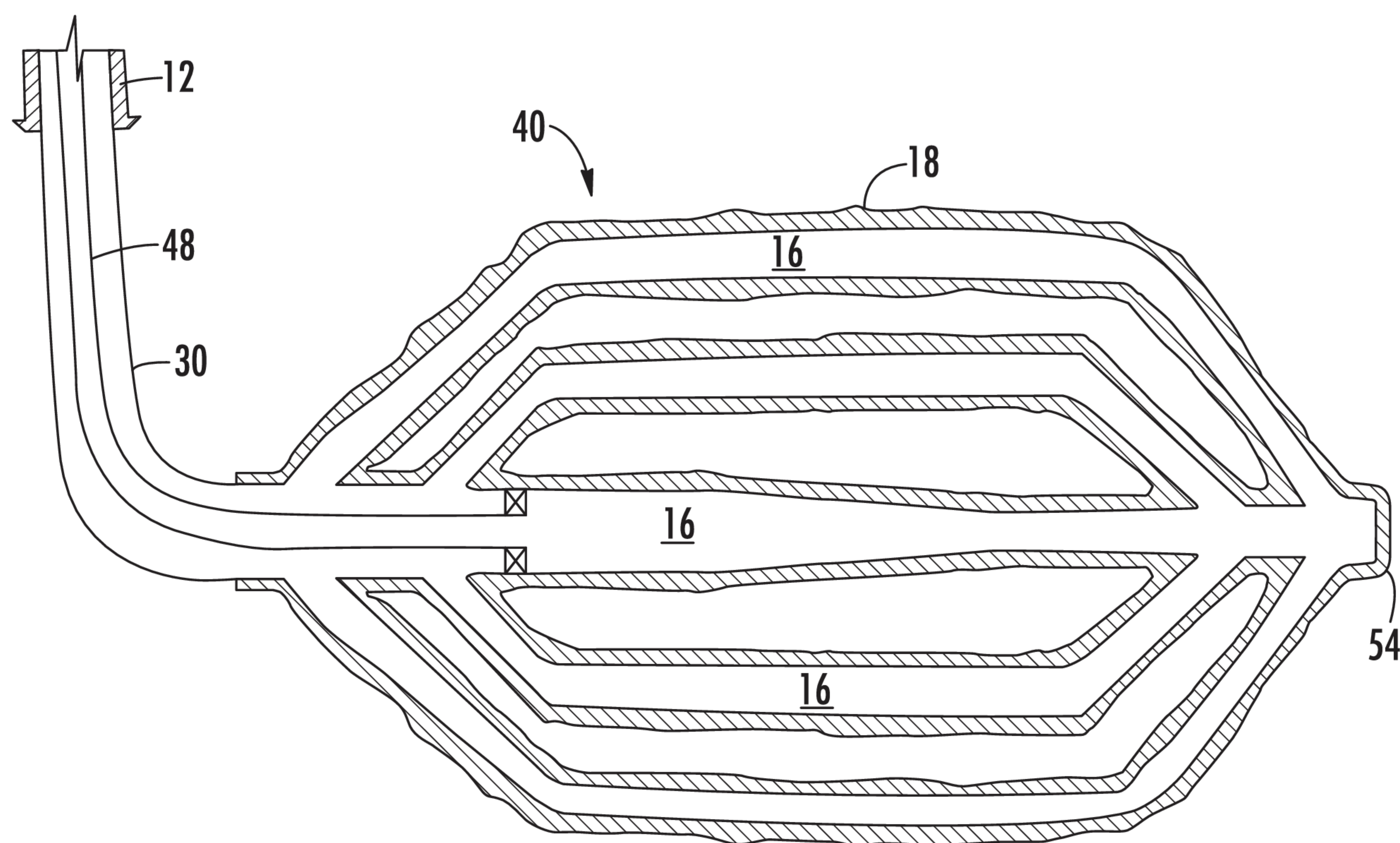
【圖 8】



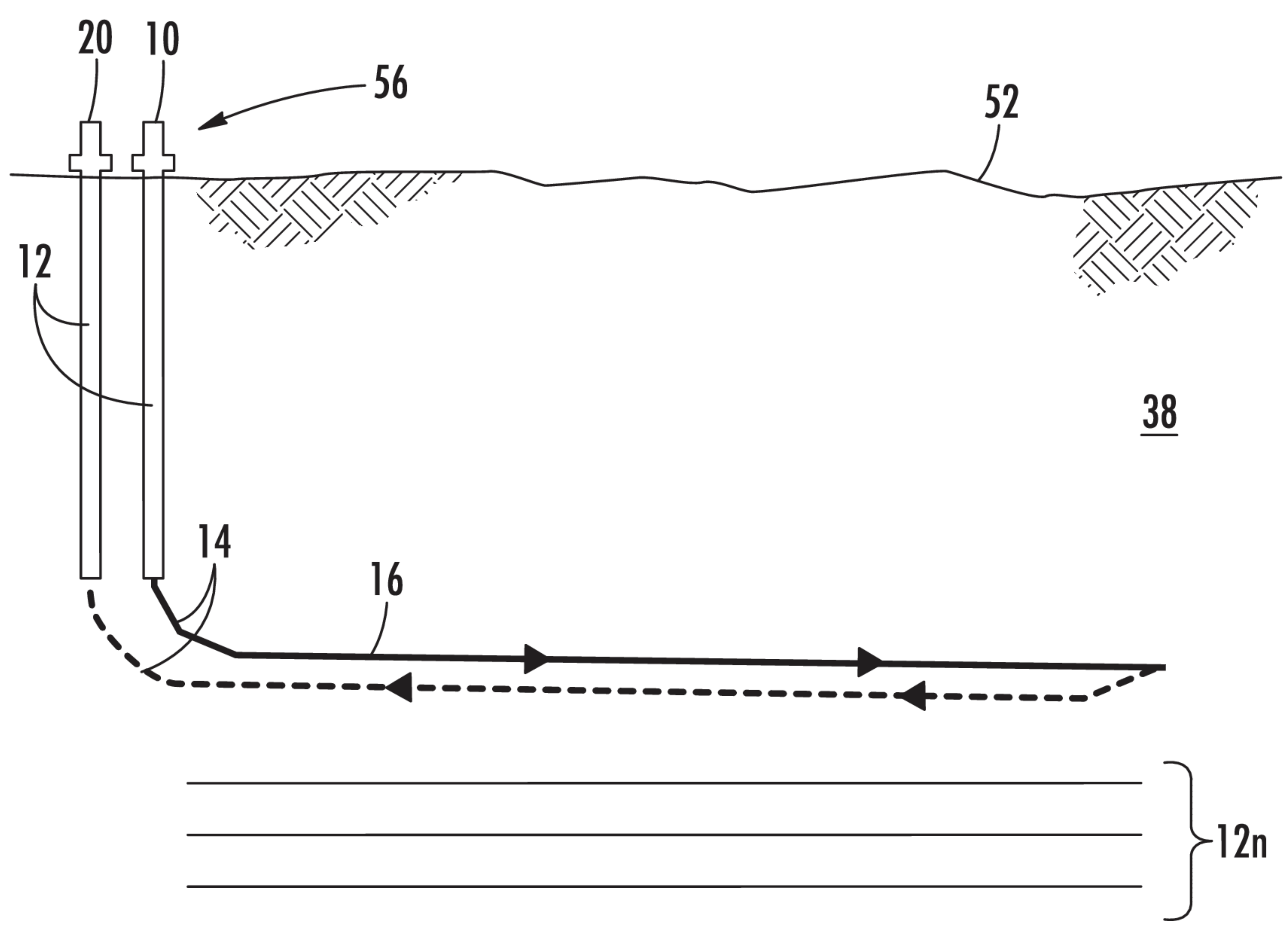
【圖 9】



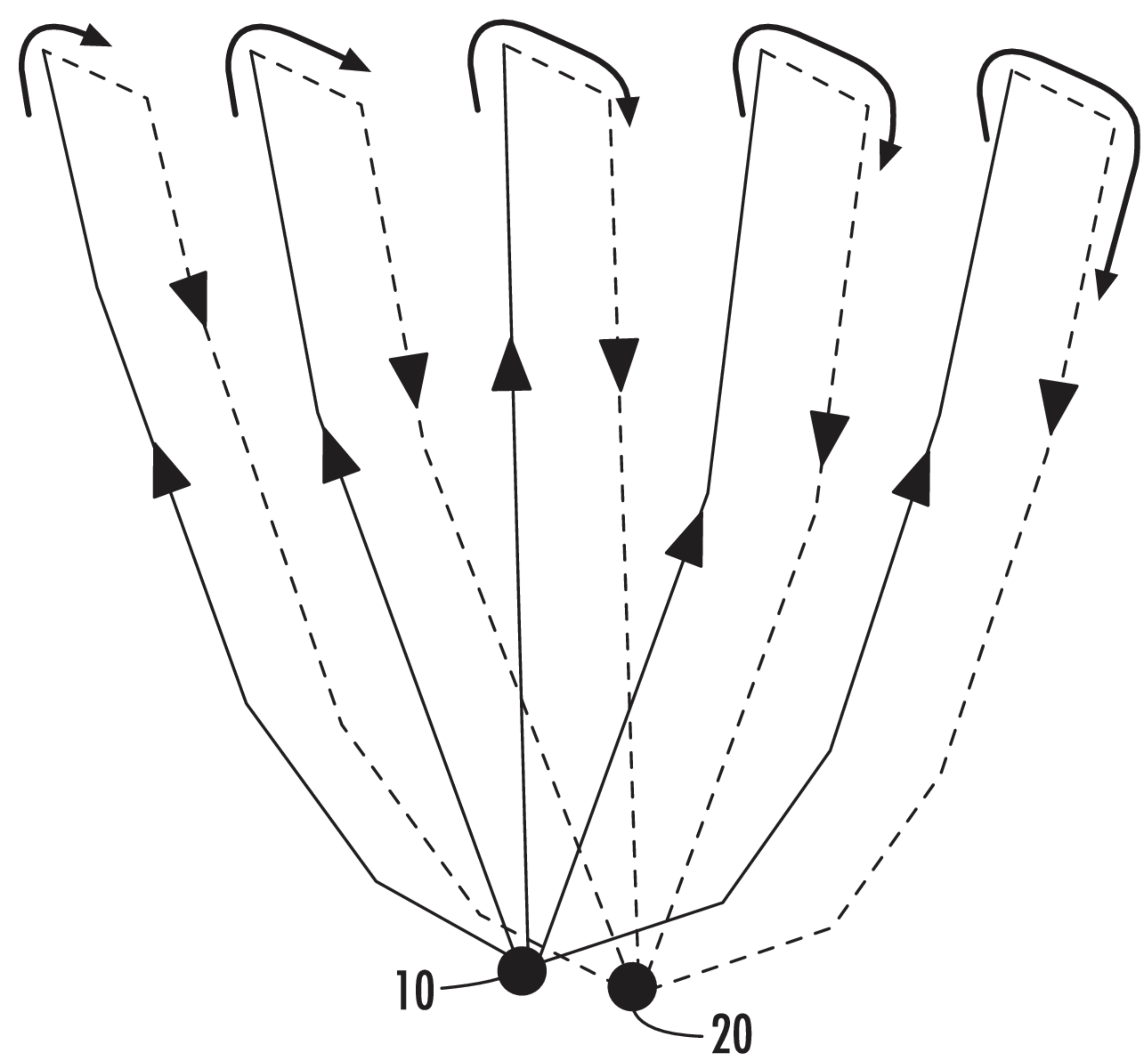
【圖 10】



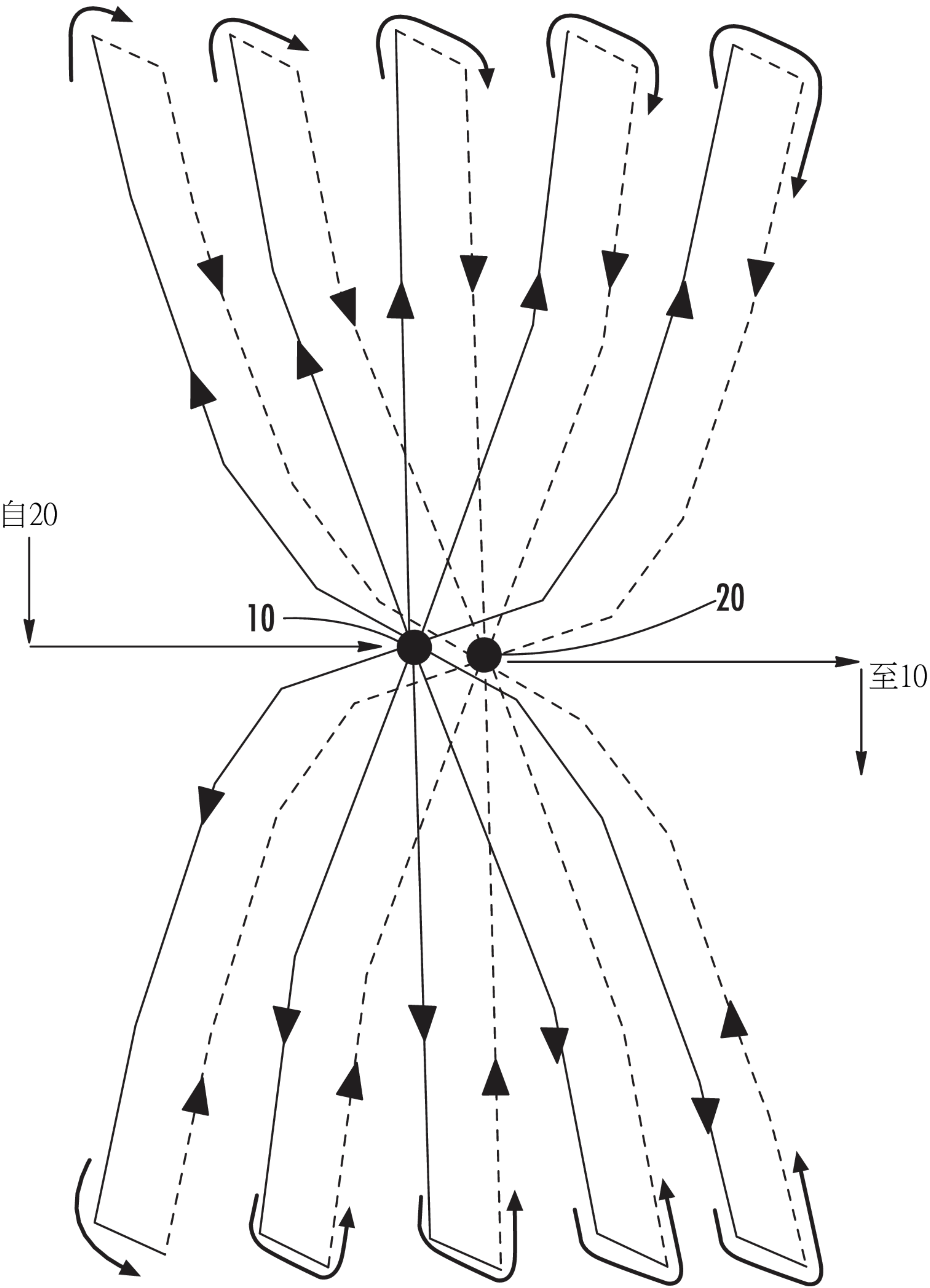
【圖 11】



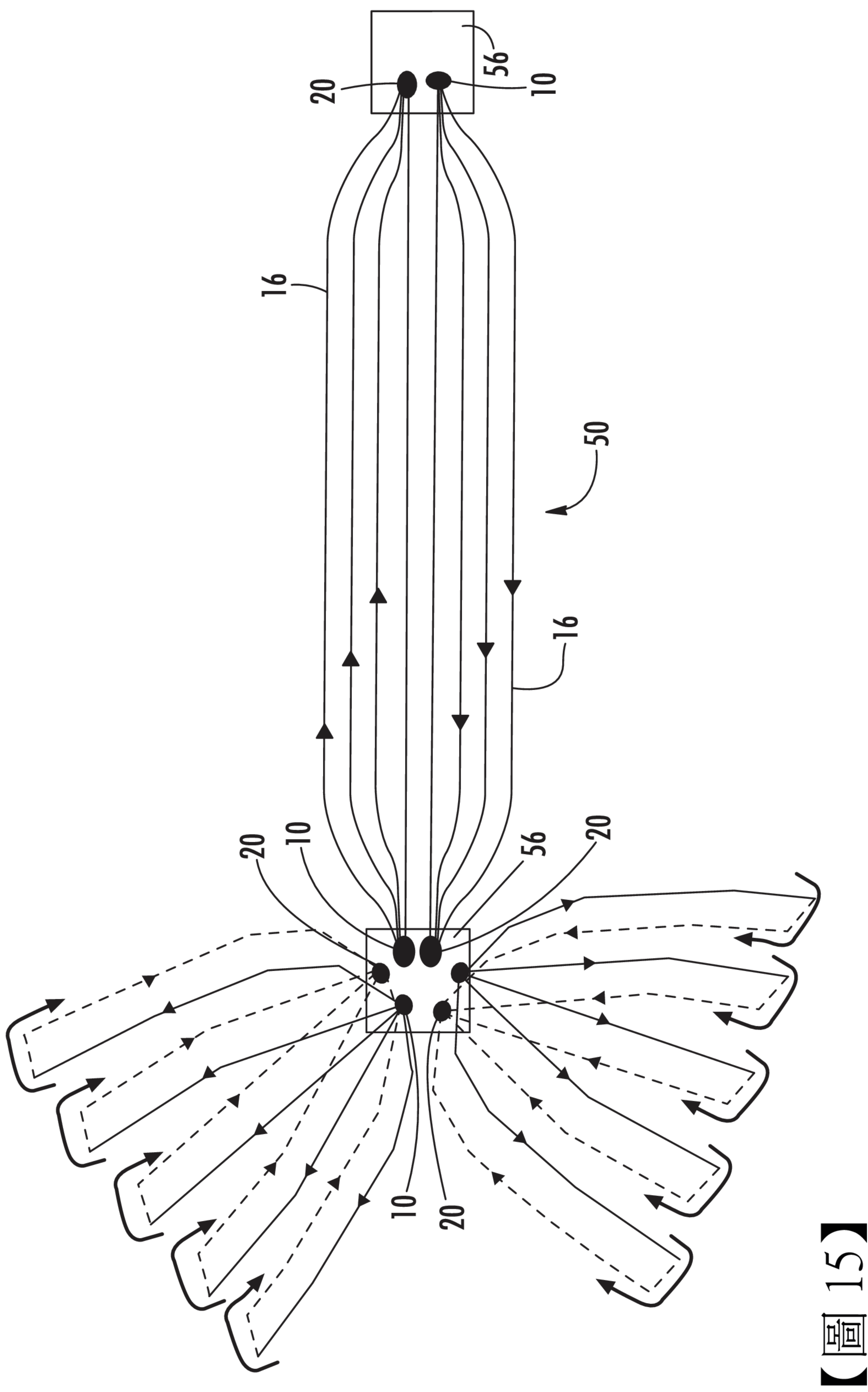
【圖 12】



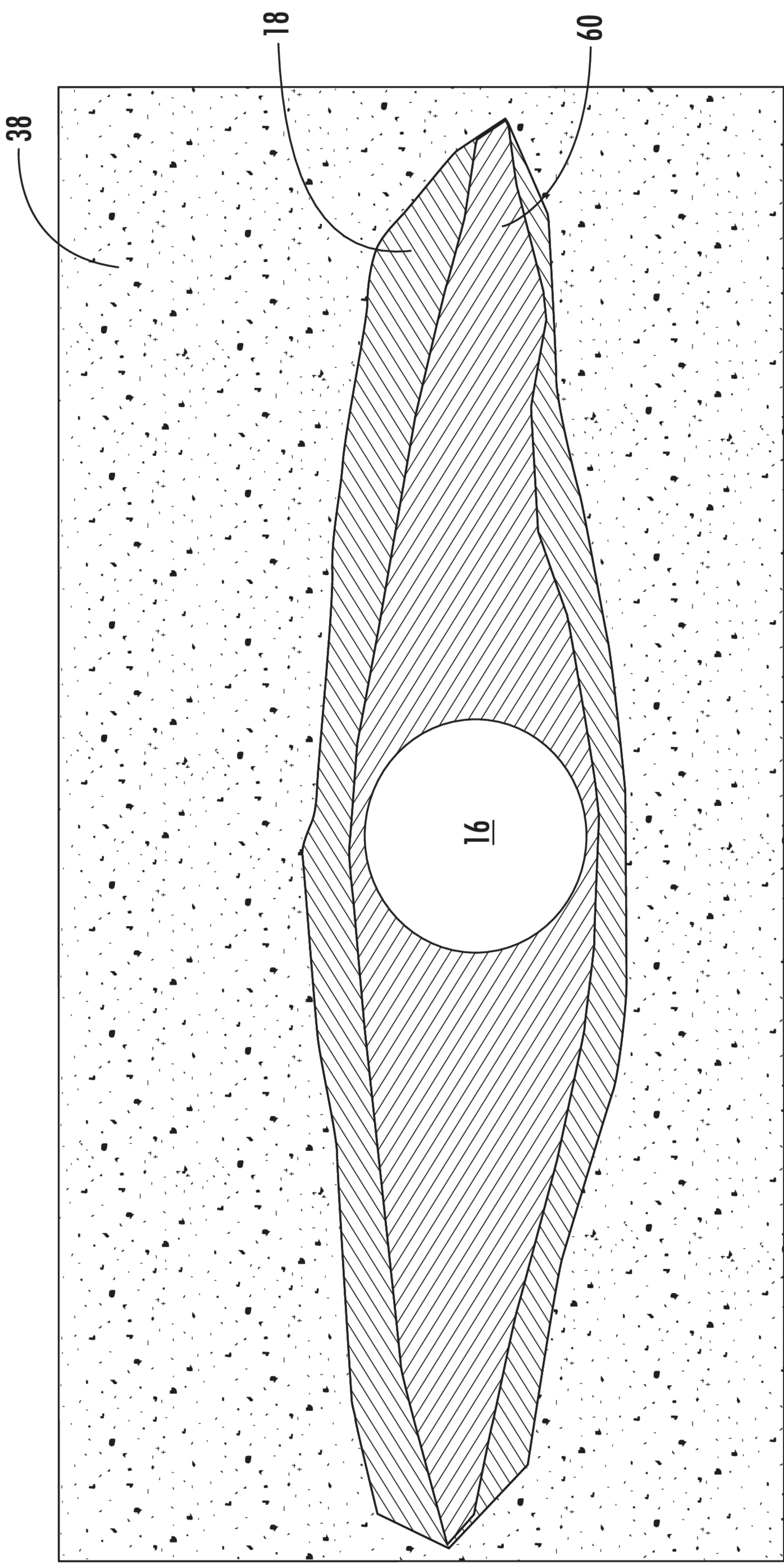
【圖 13】



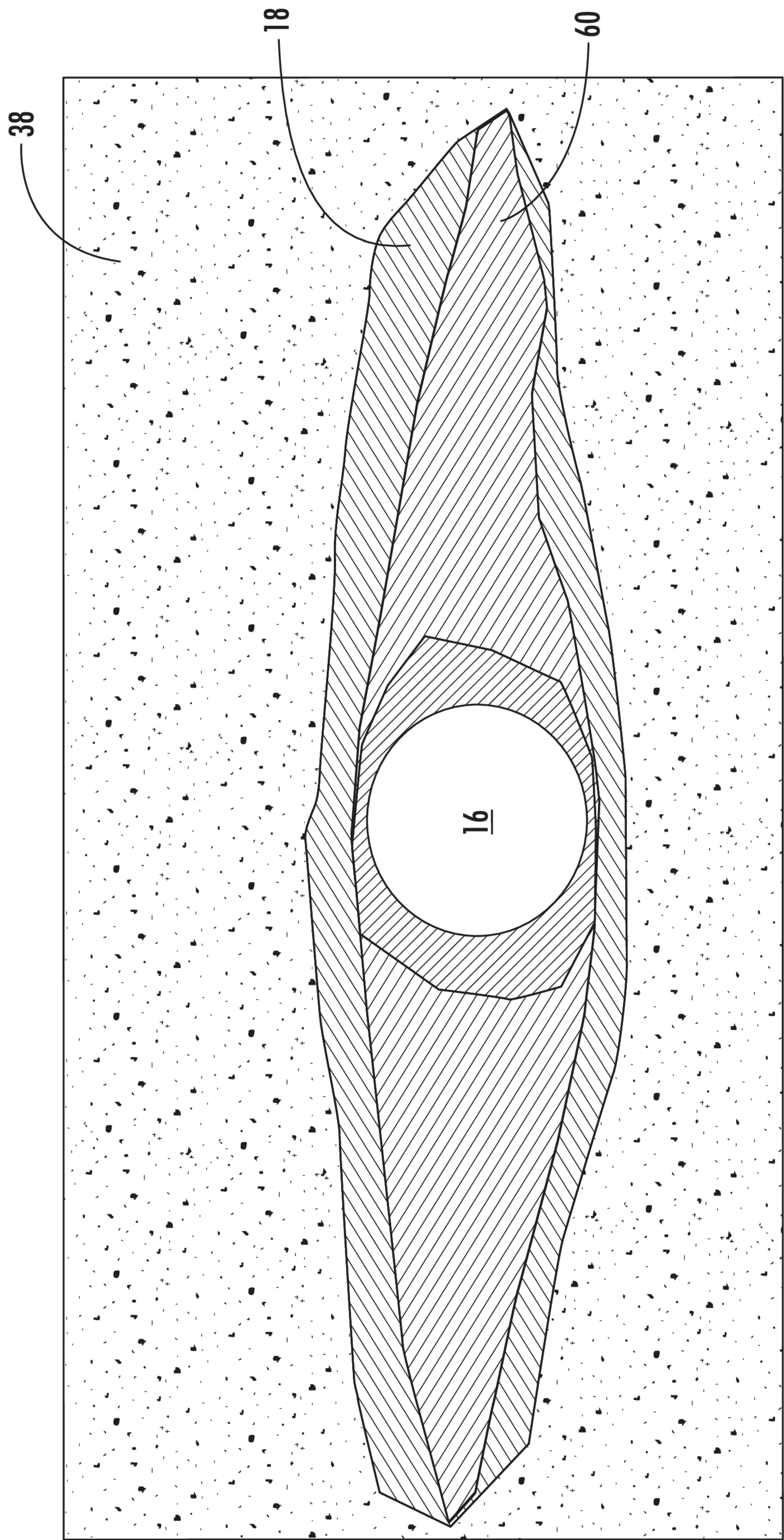
【圖 14】



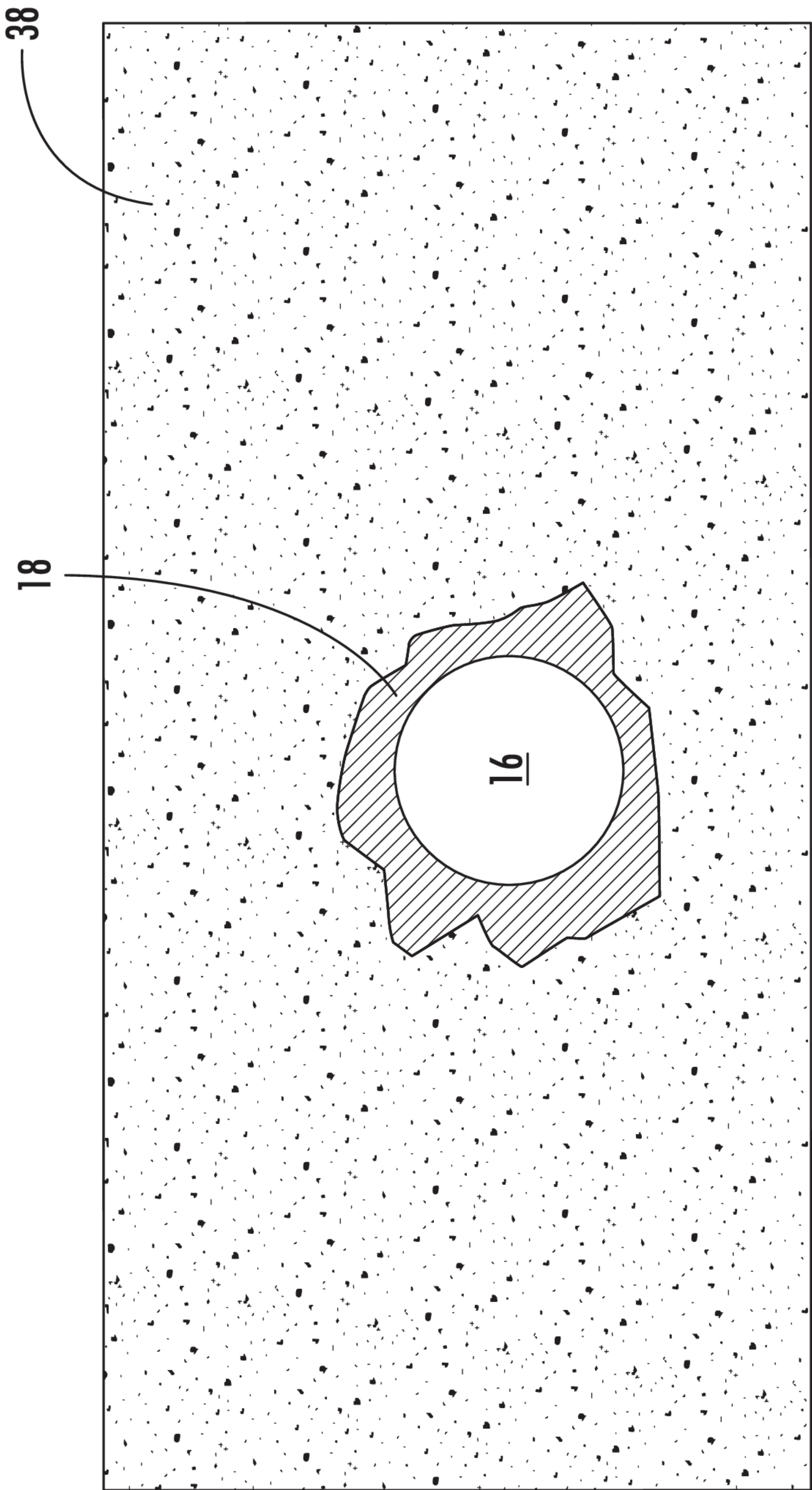
【圖 15】



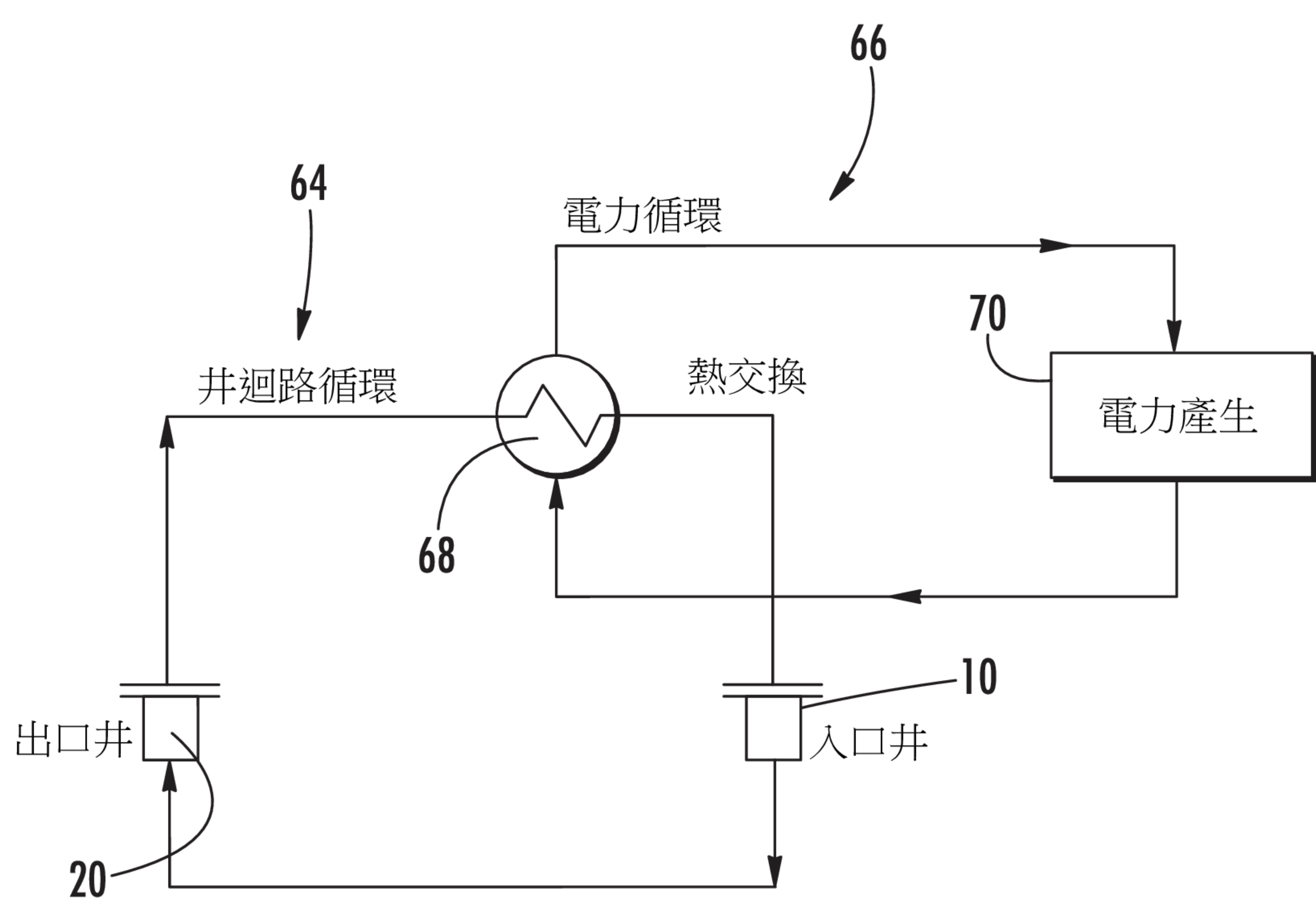
【圖 16】



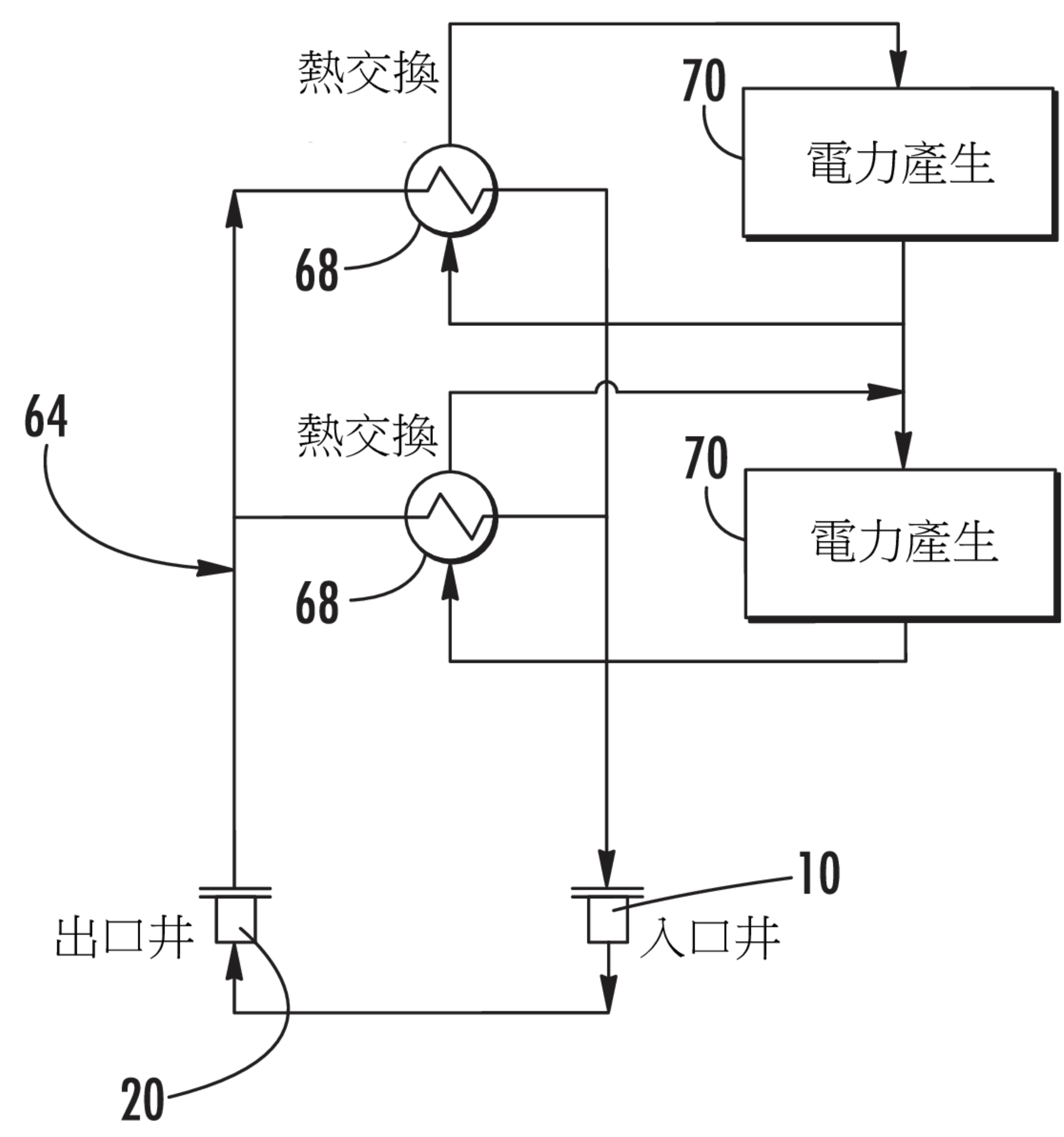
【圖 17】



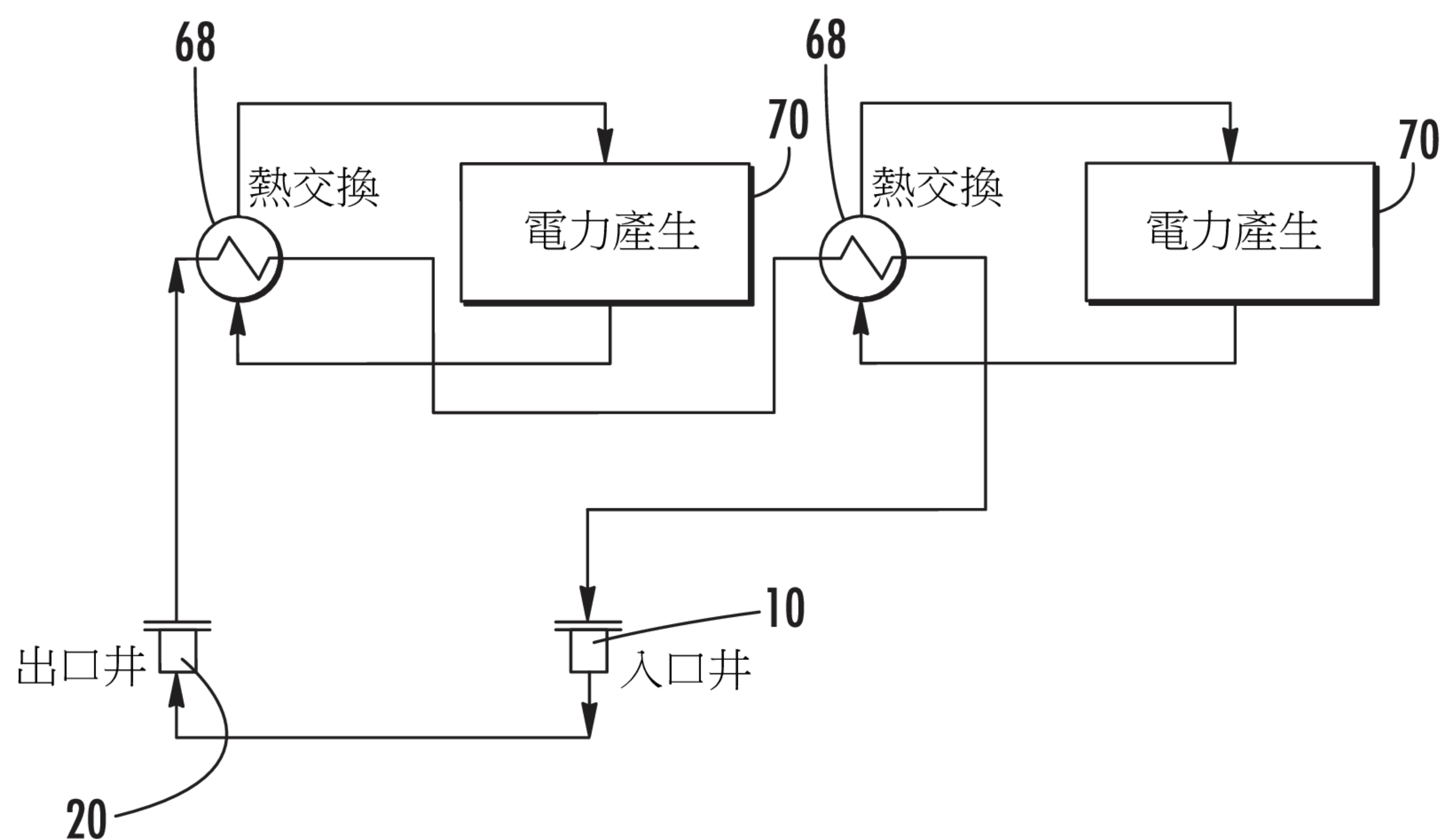
【圖 18】



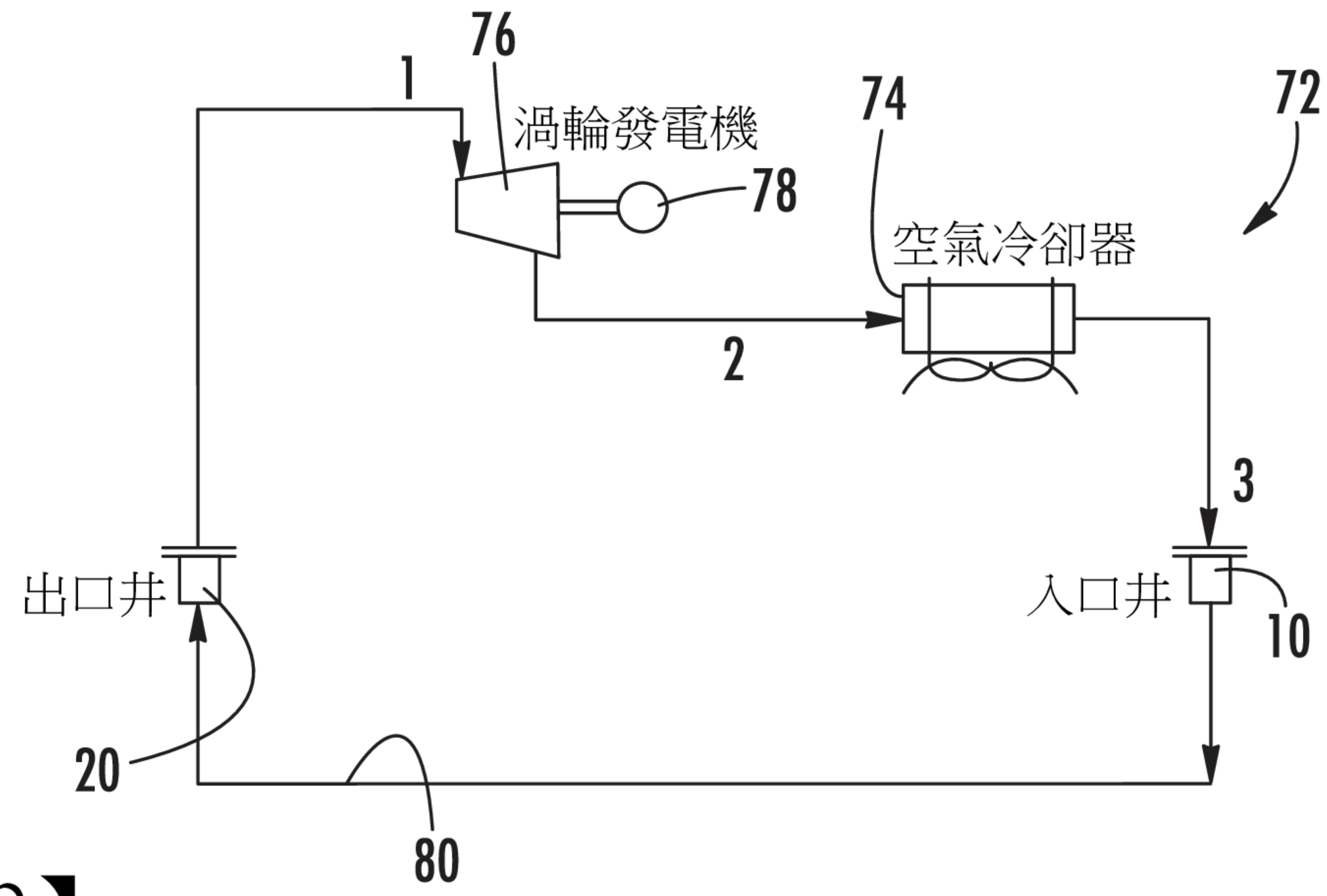
【圖 19】



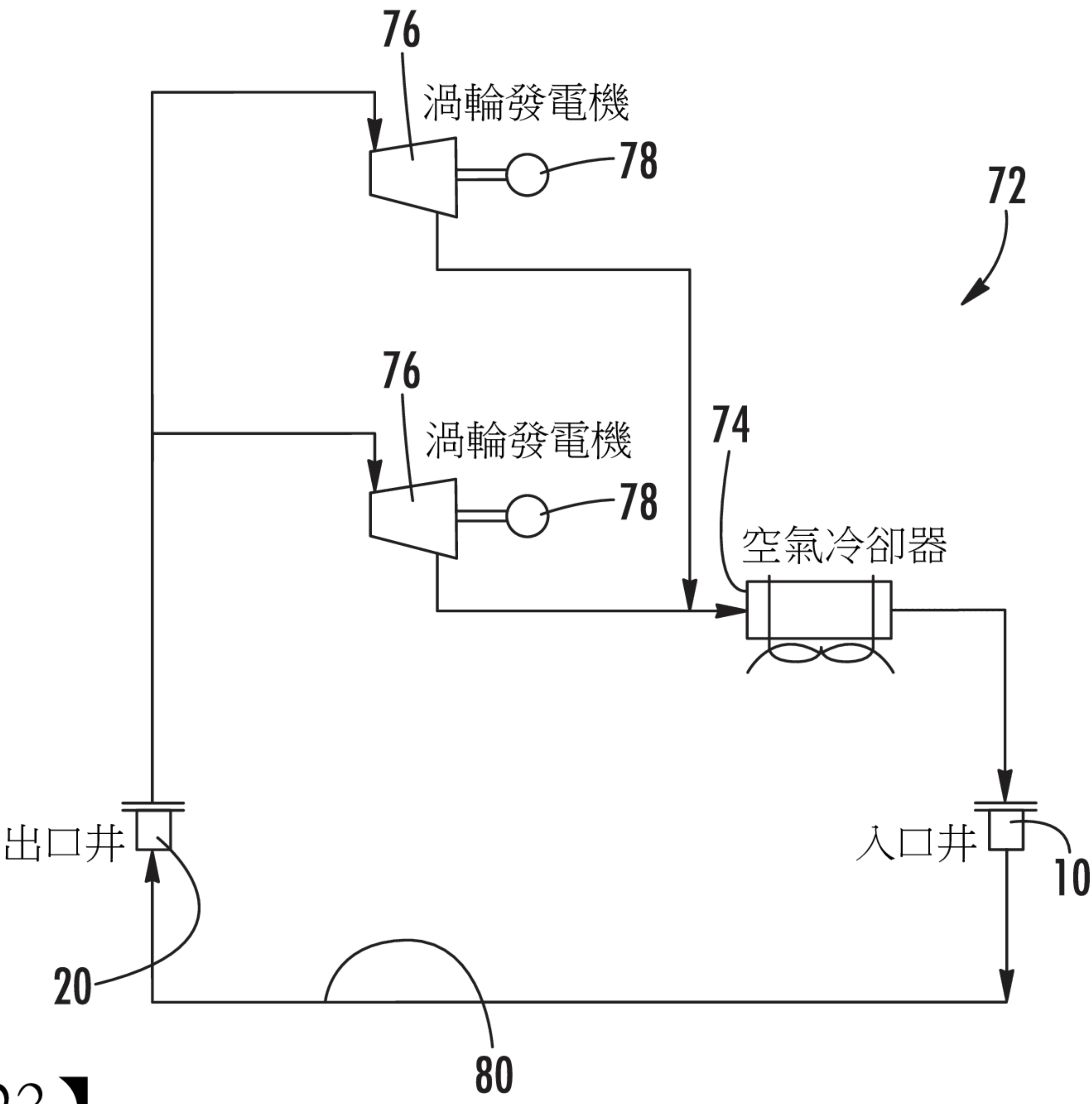
【圖 20】



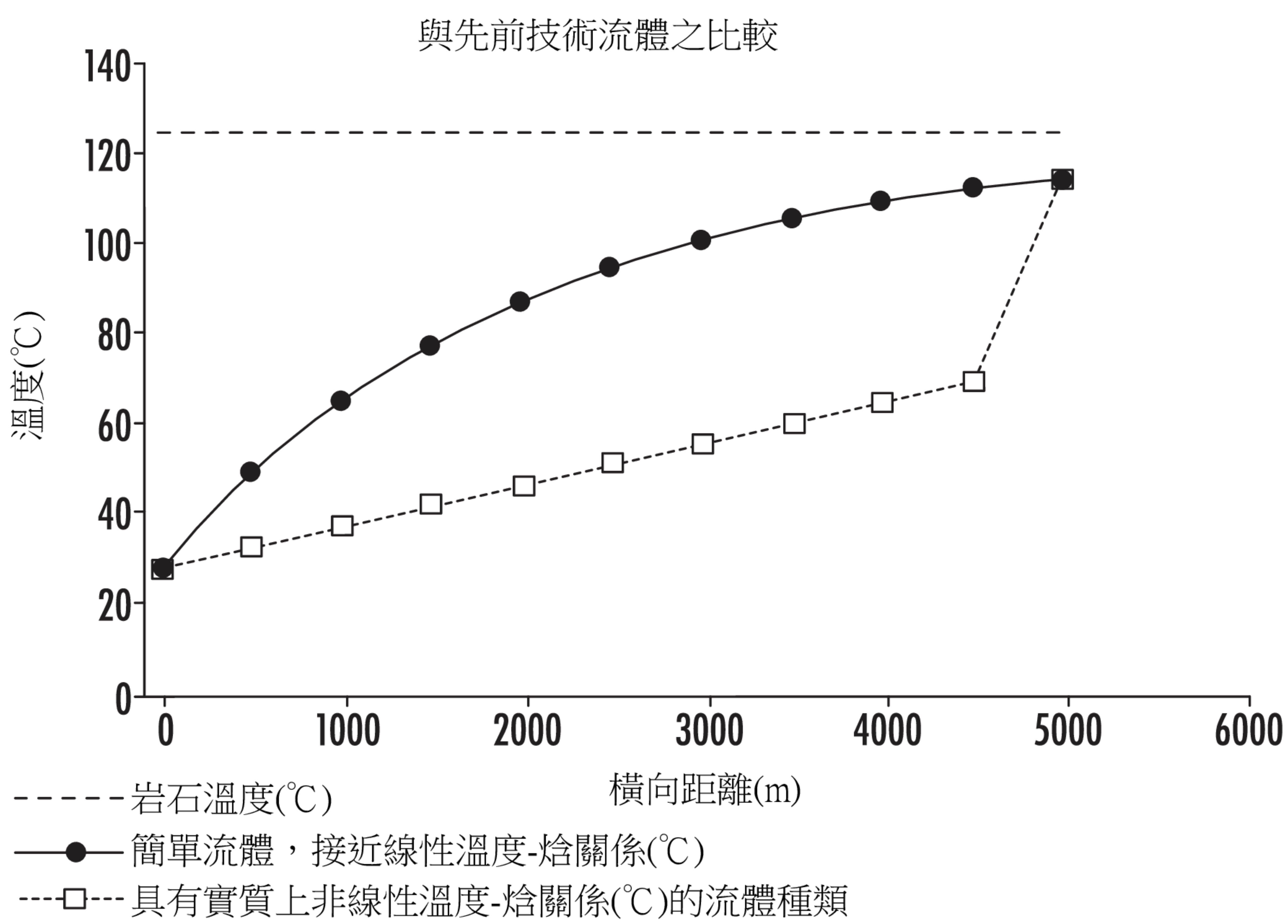
【圖 21】



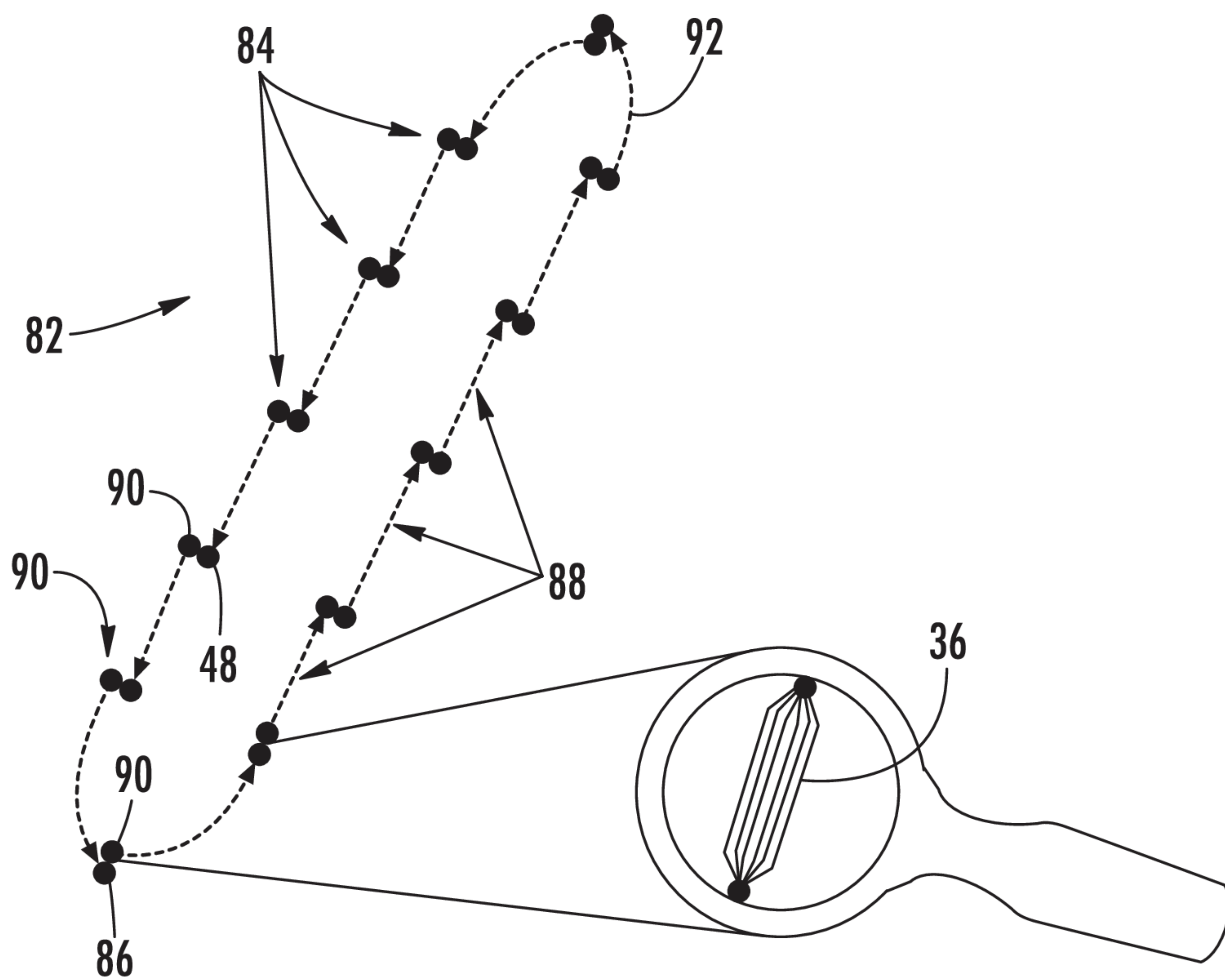
【圖 22】



【圖 23】

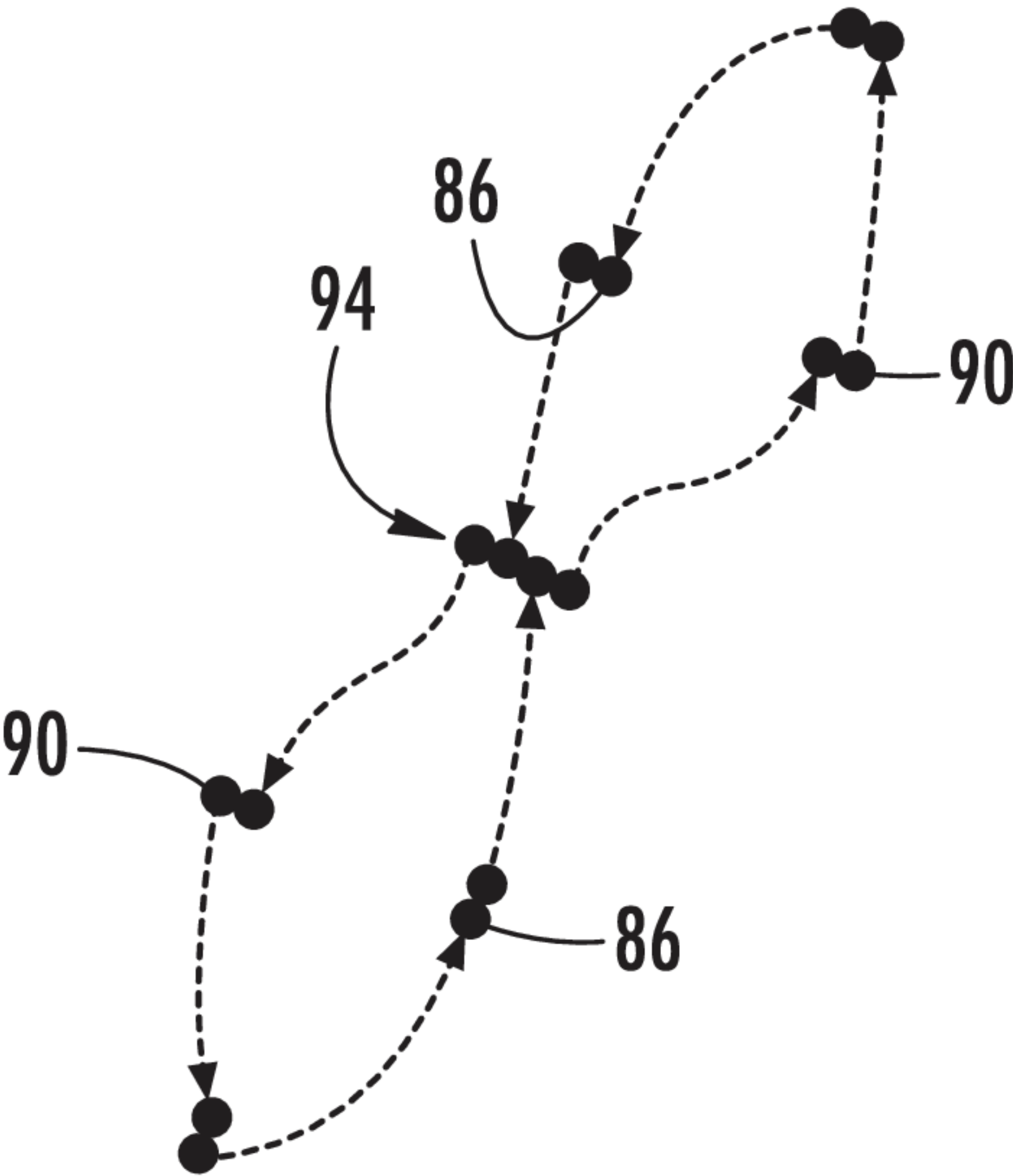


【圖 24】

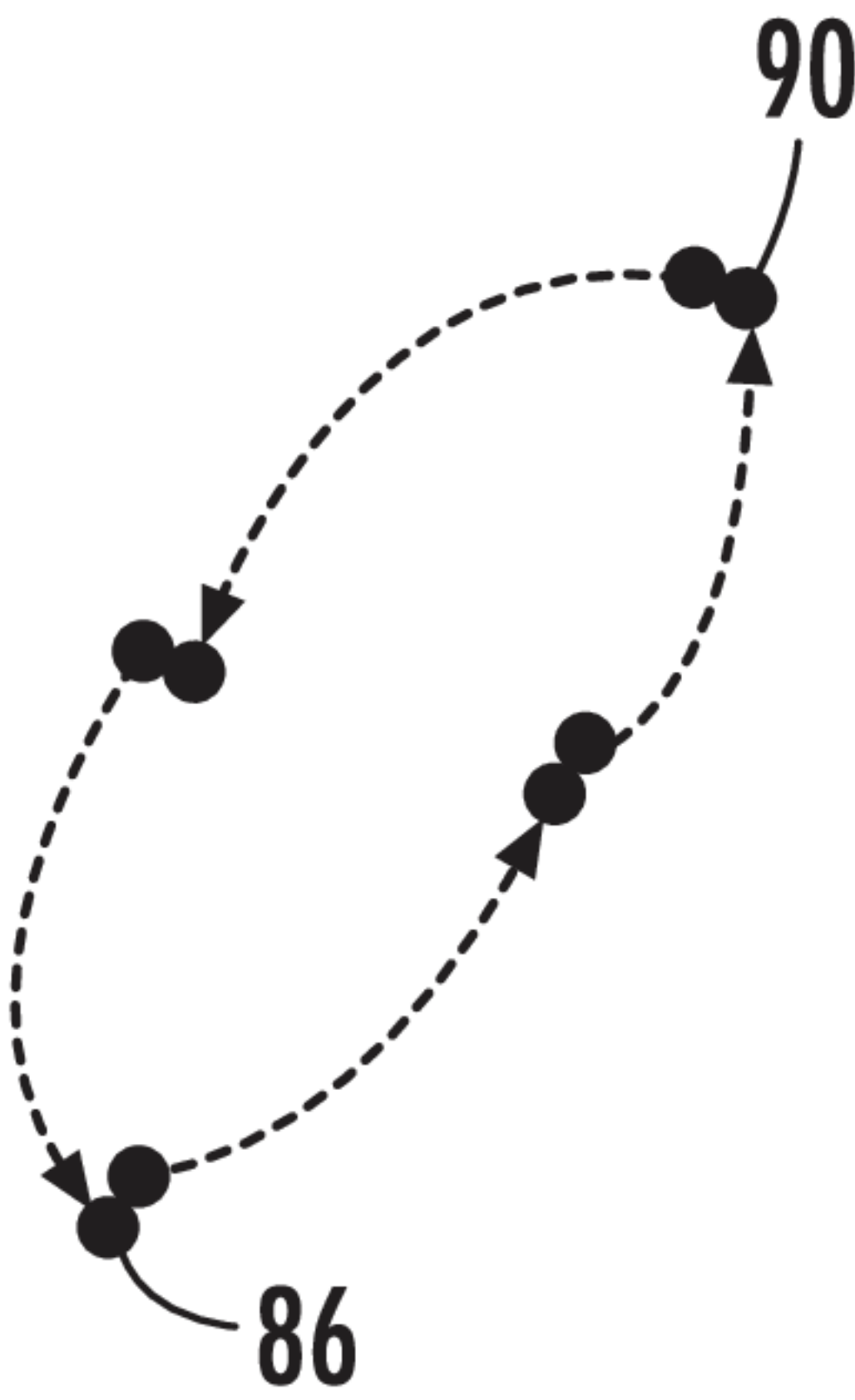


【圖 25】

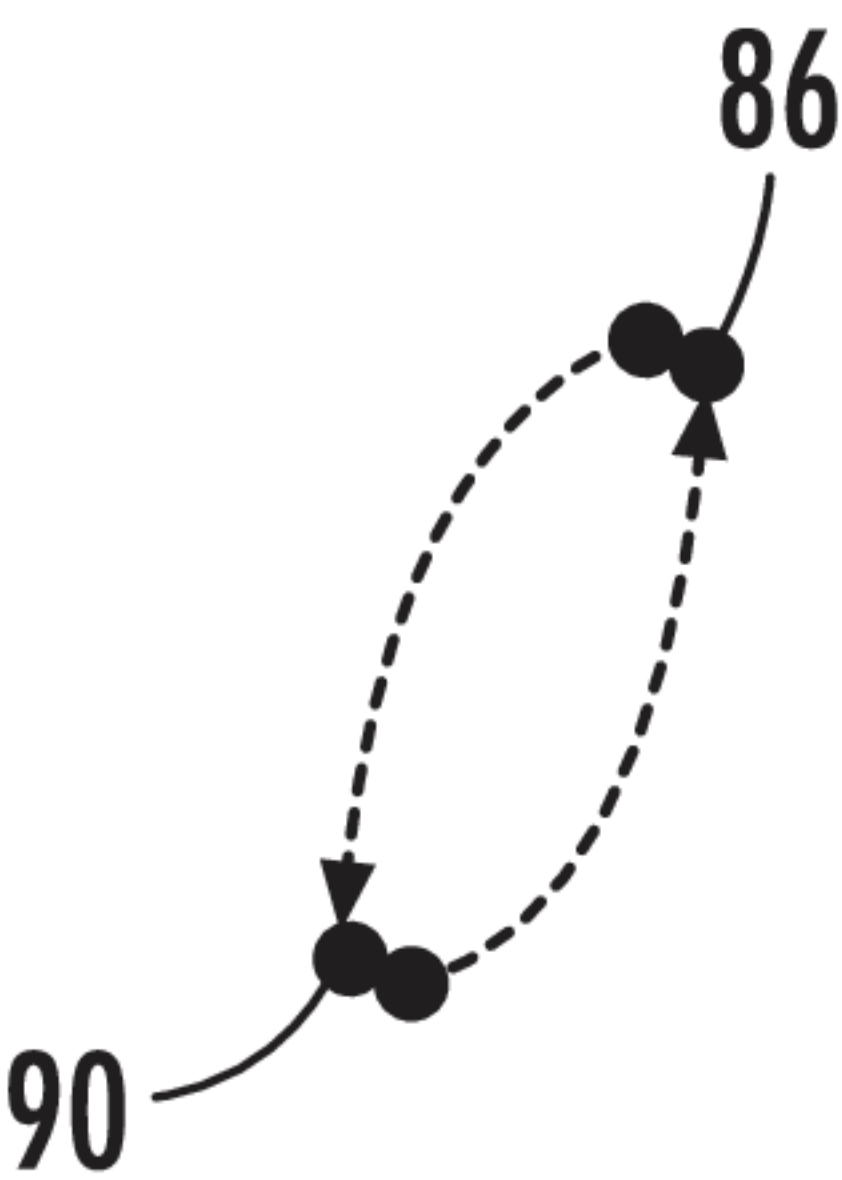
【圖 25 A】



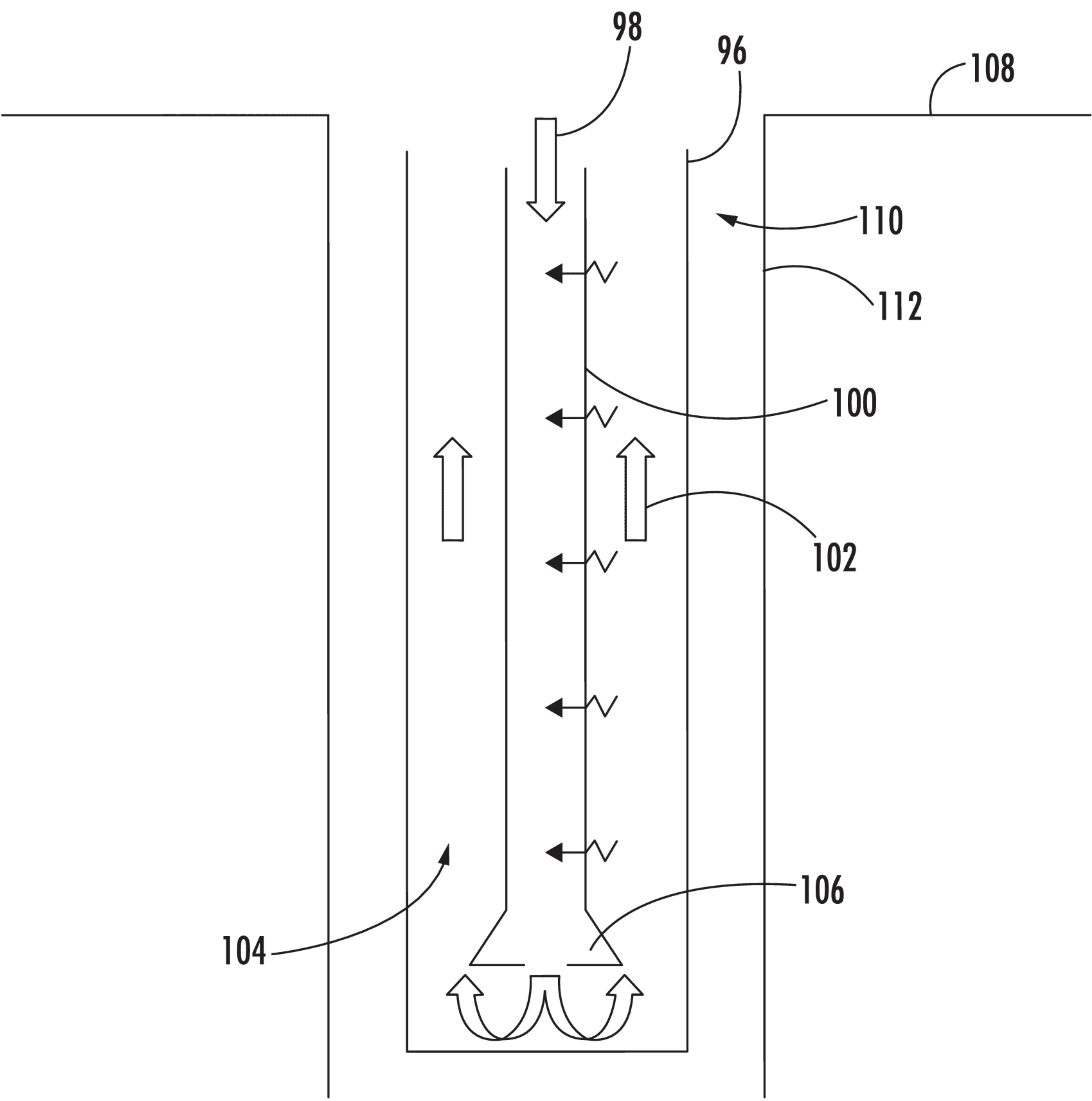
【圖 26】



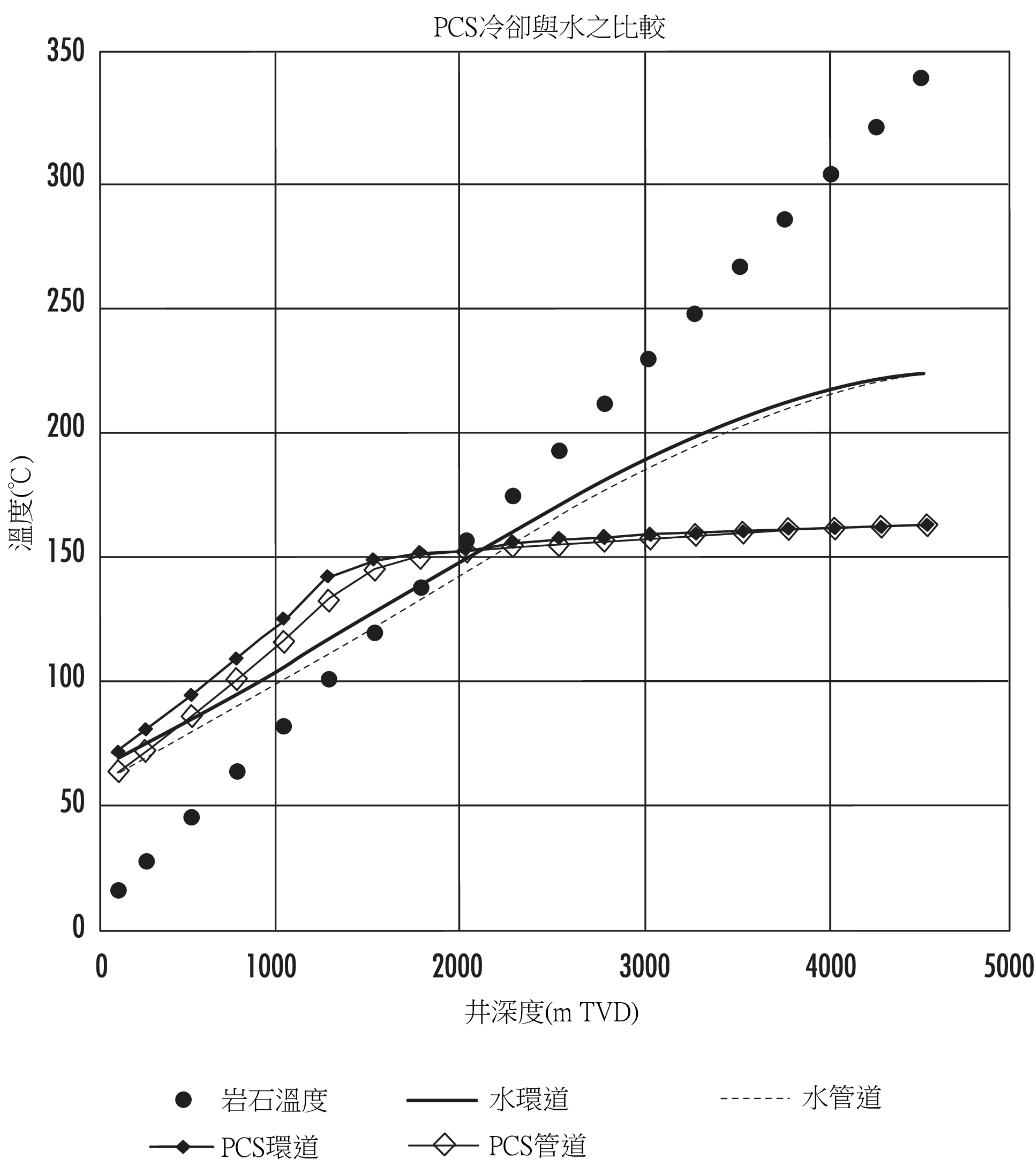
【圖 27】



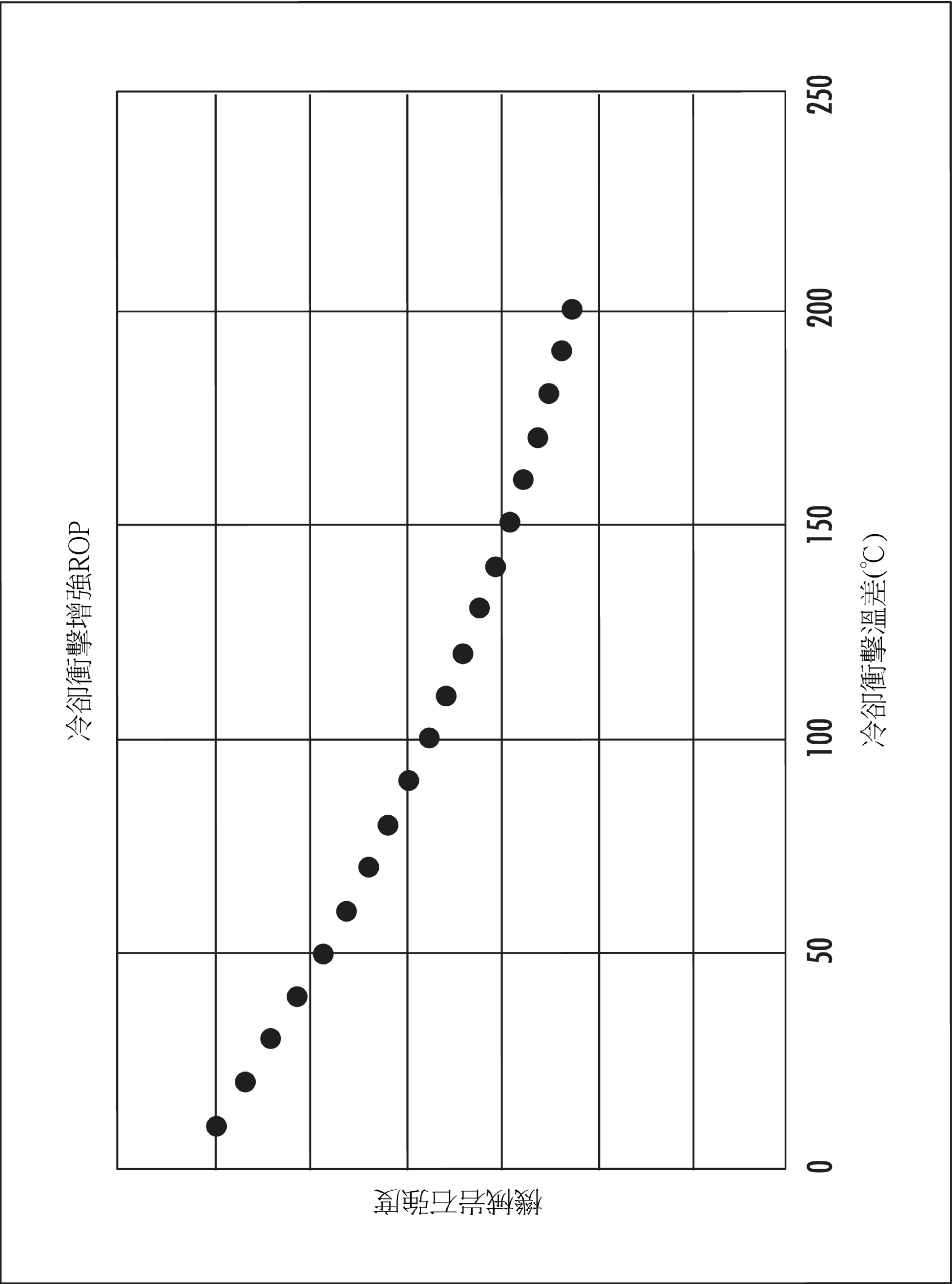
【圖 28】



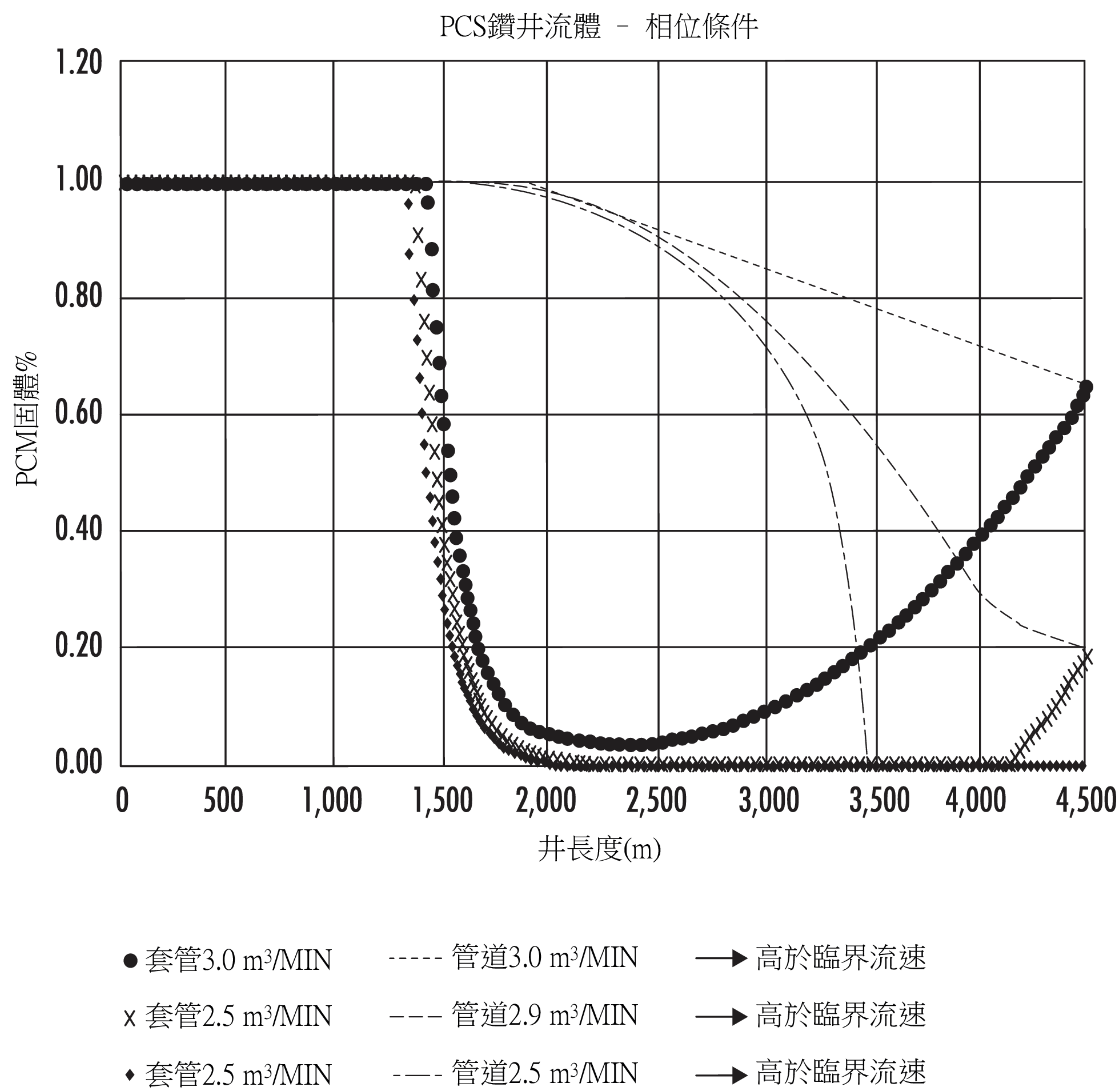
【圖 29】



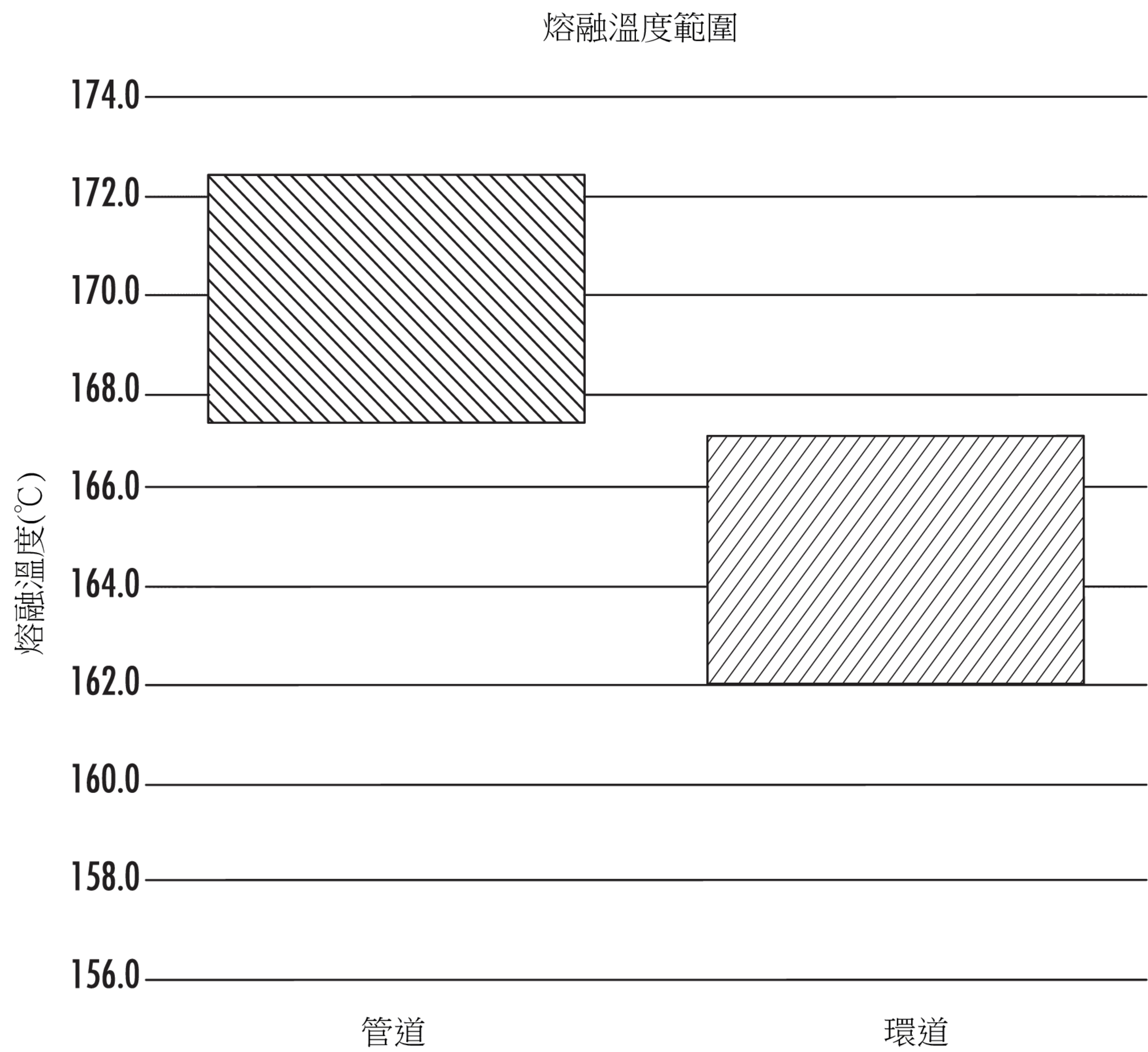
【圖 30】



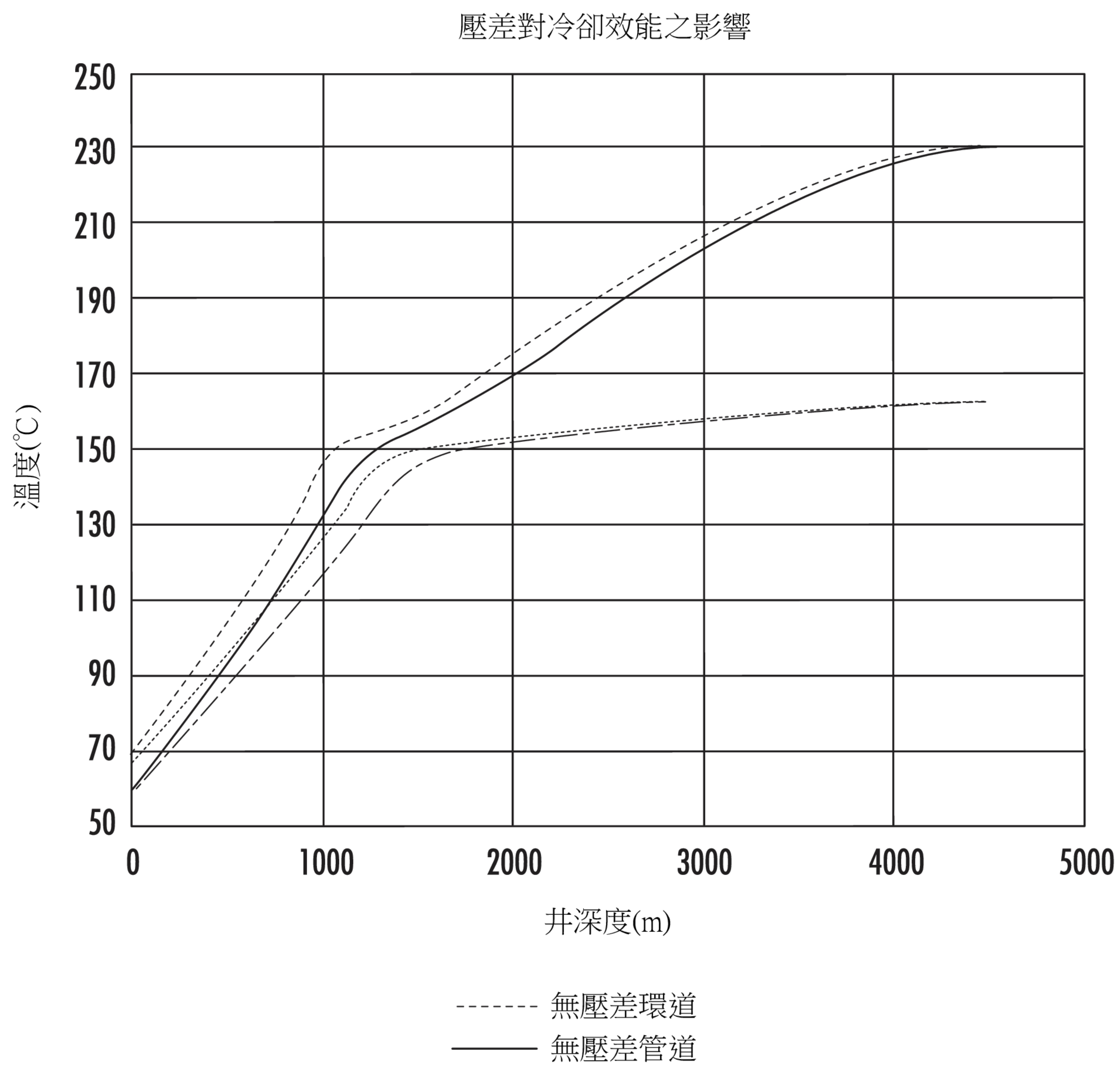
【圖 31】



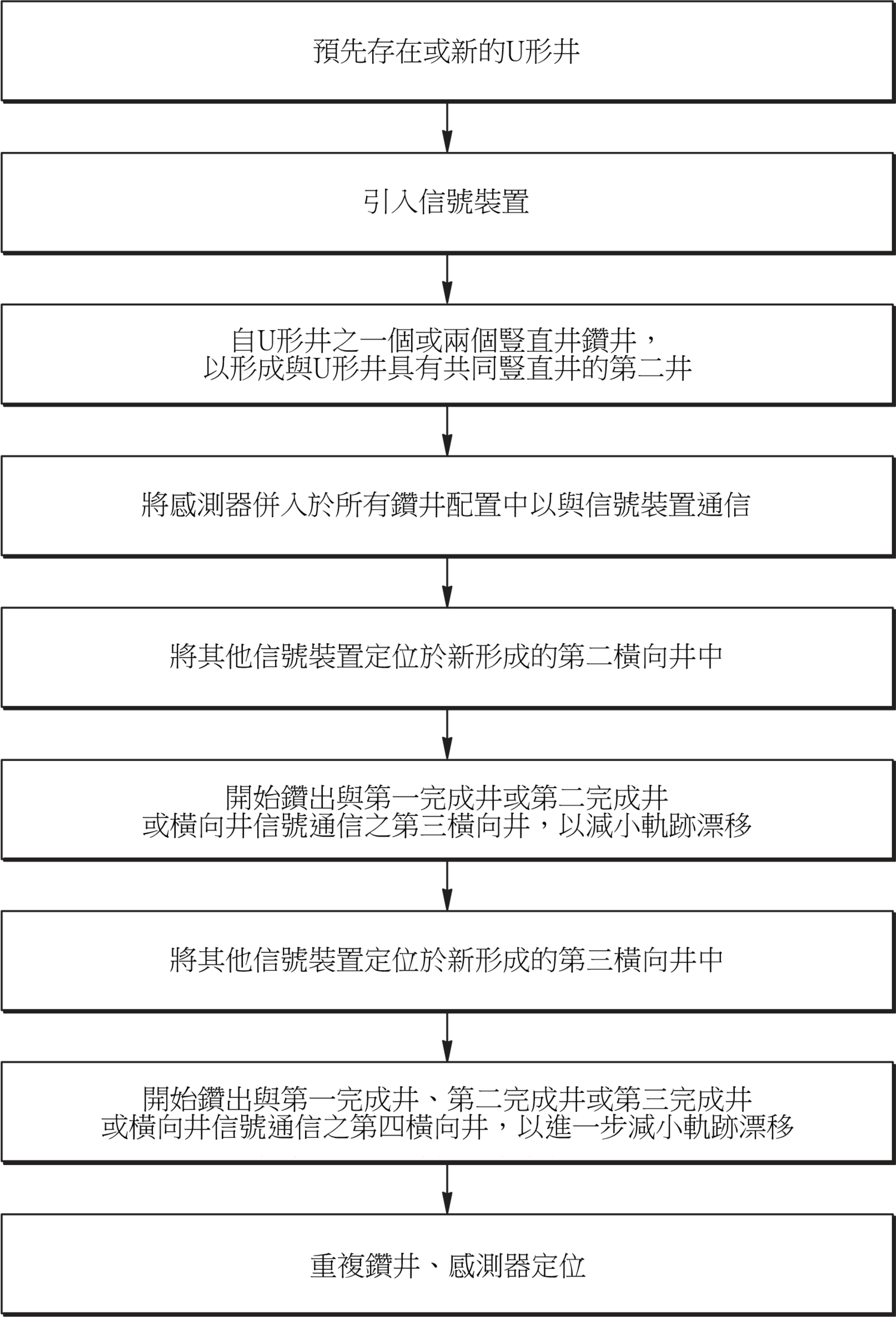
【圖 32】



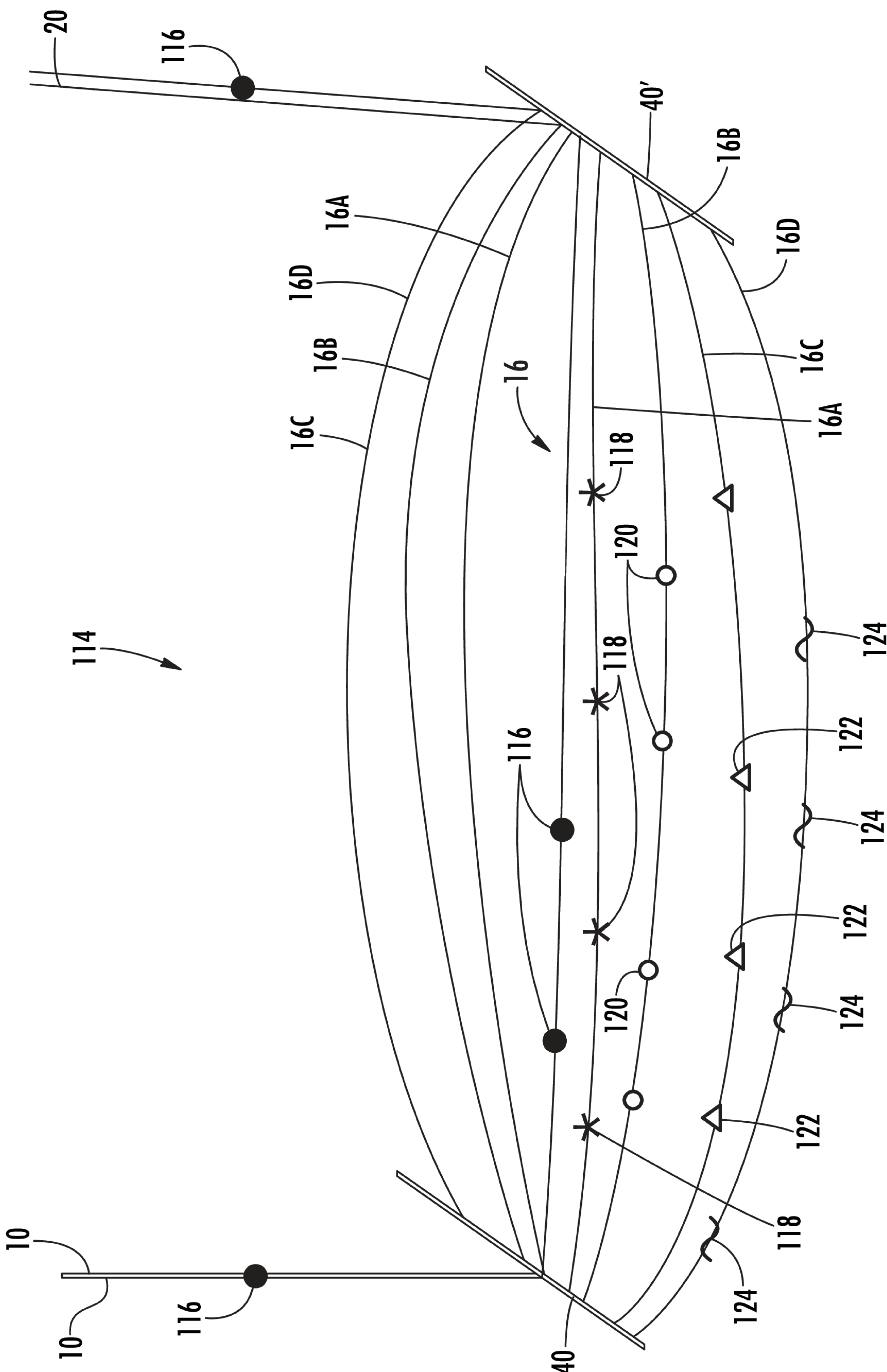
【圖 33】



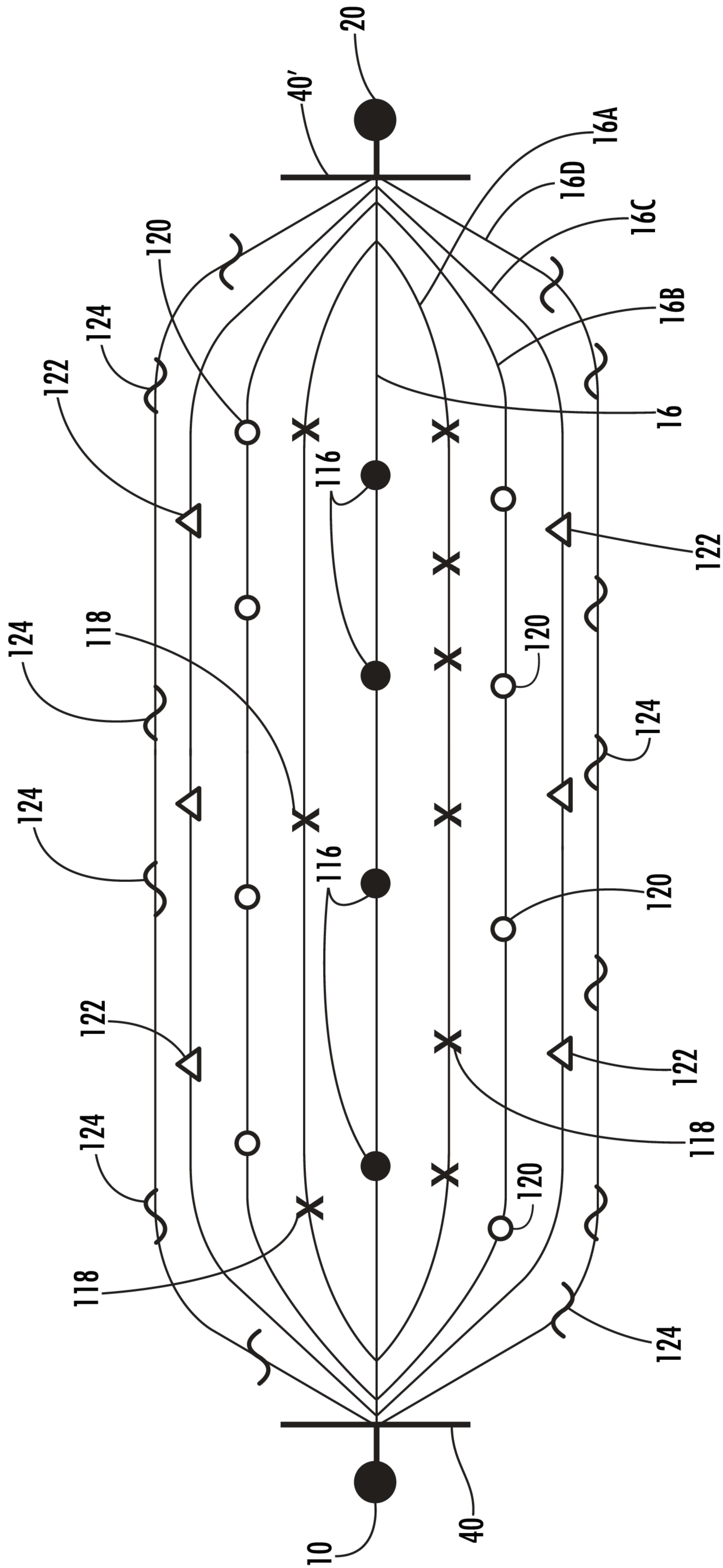
【圖 34】



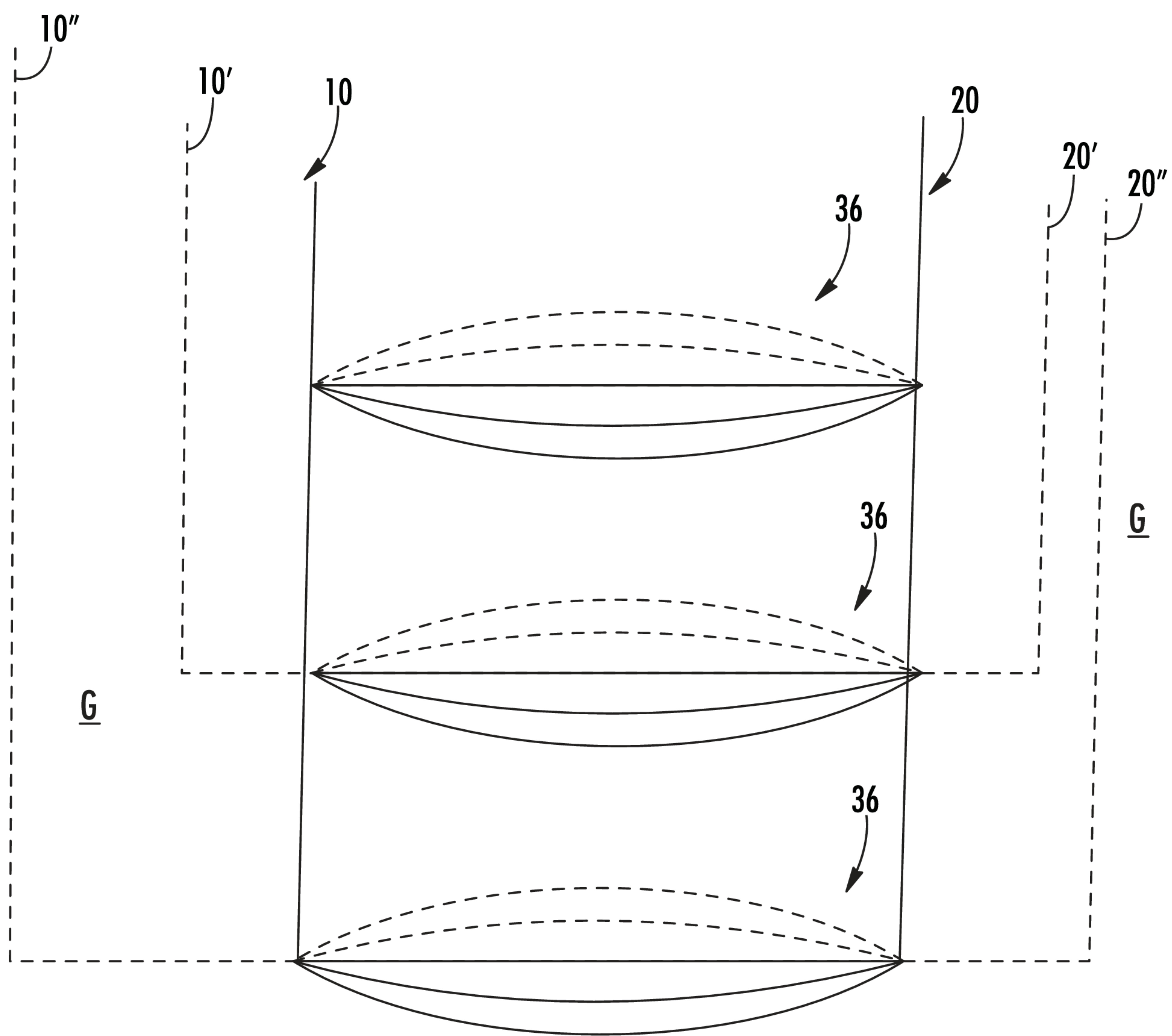
【圖 35】



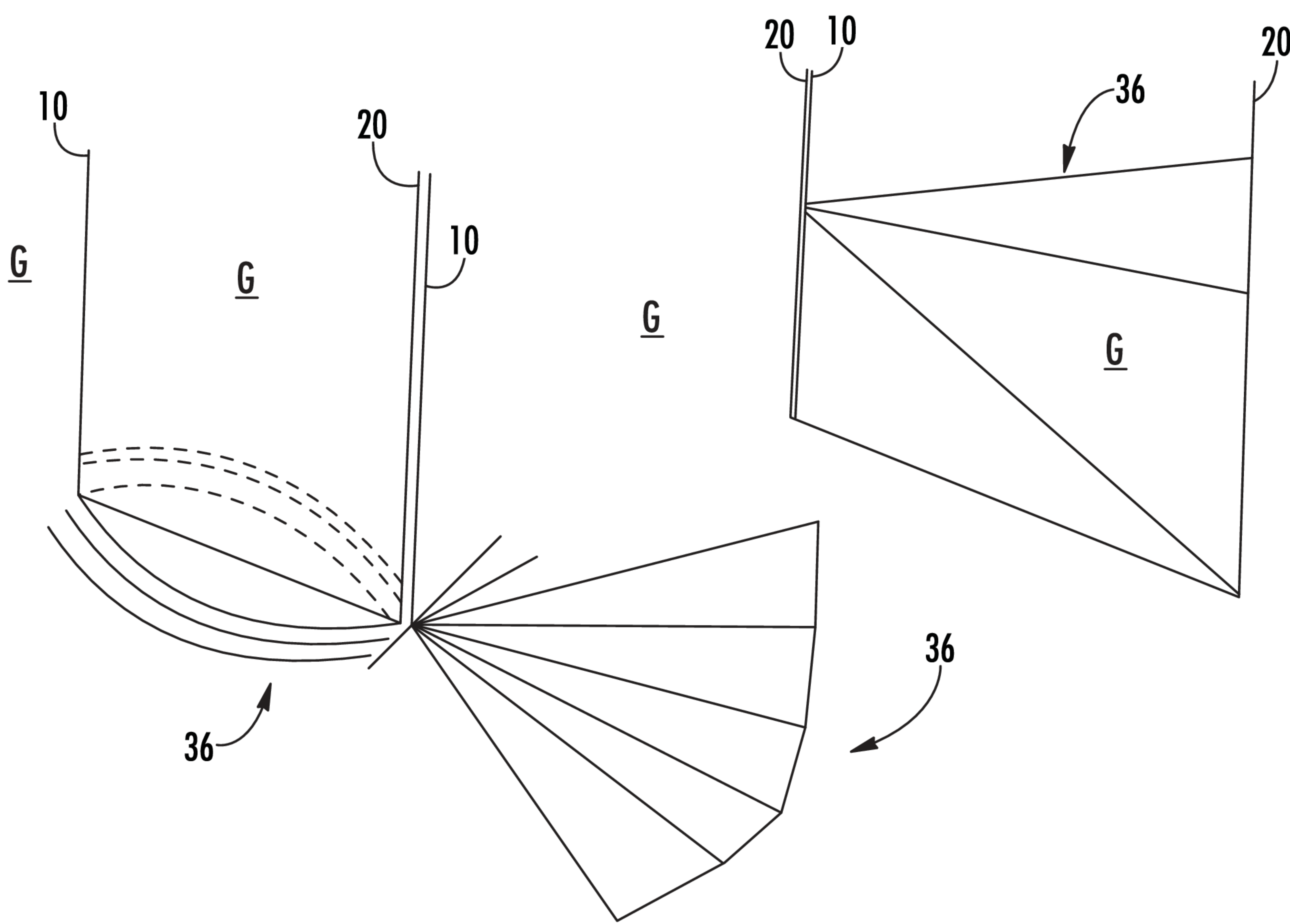
【圖 36】



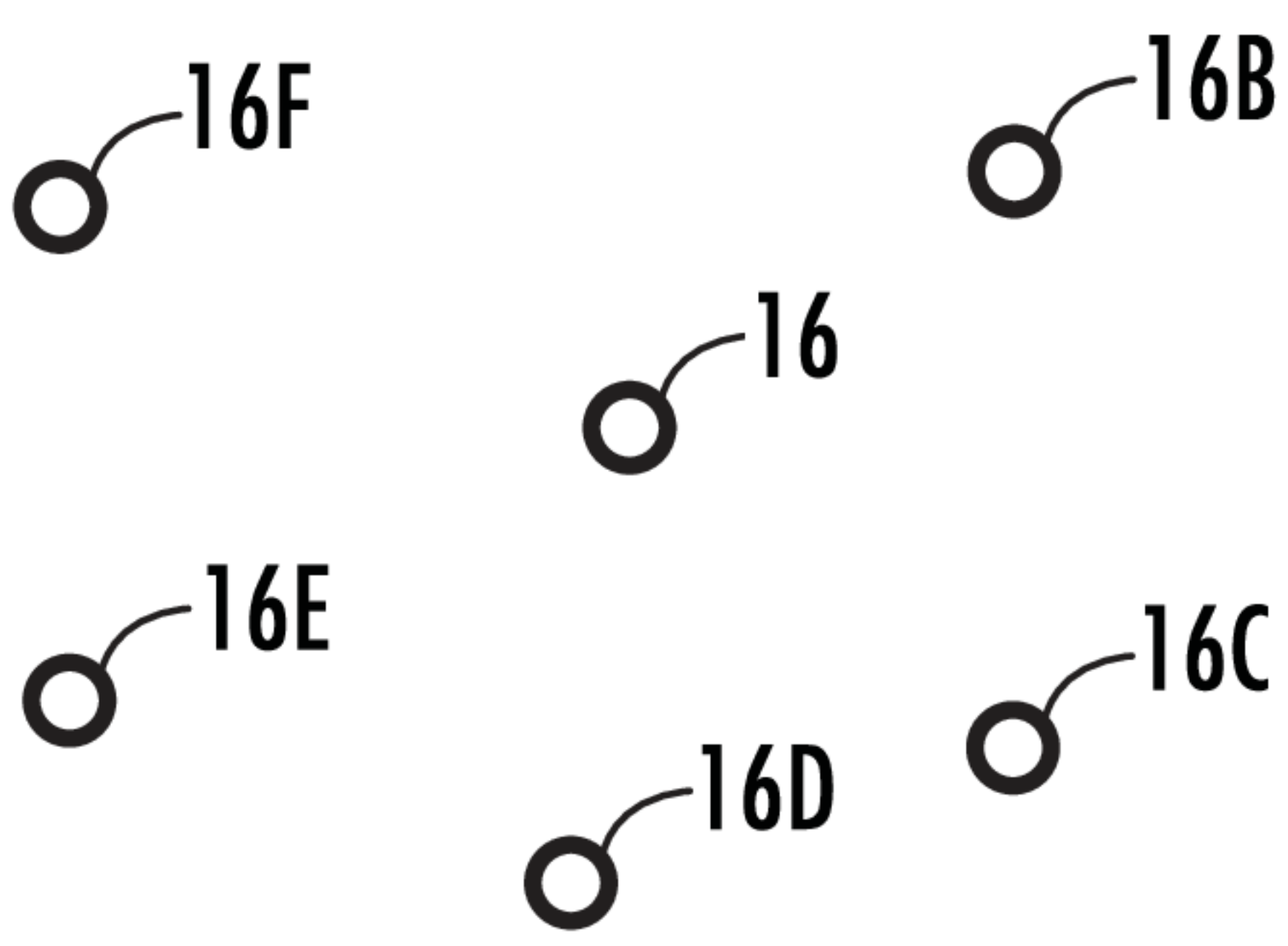
【圖 37】



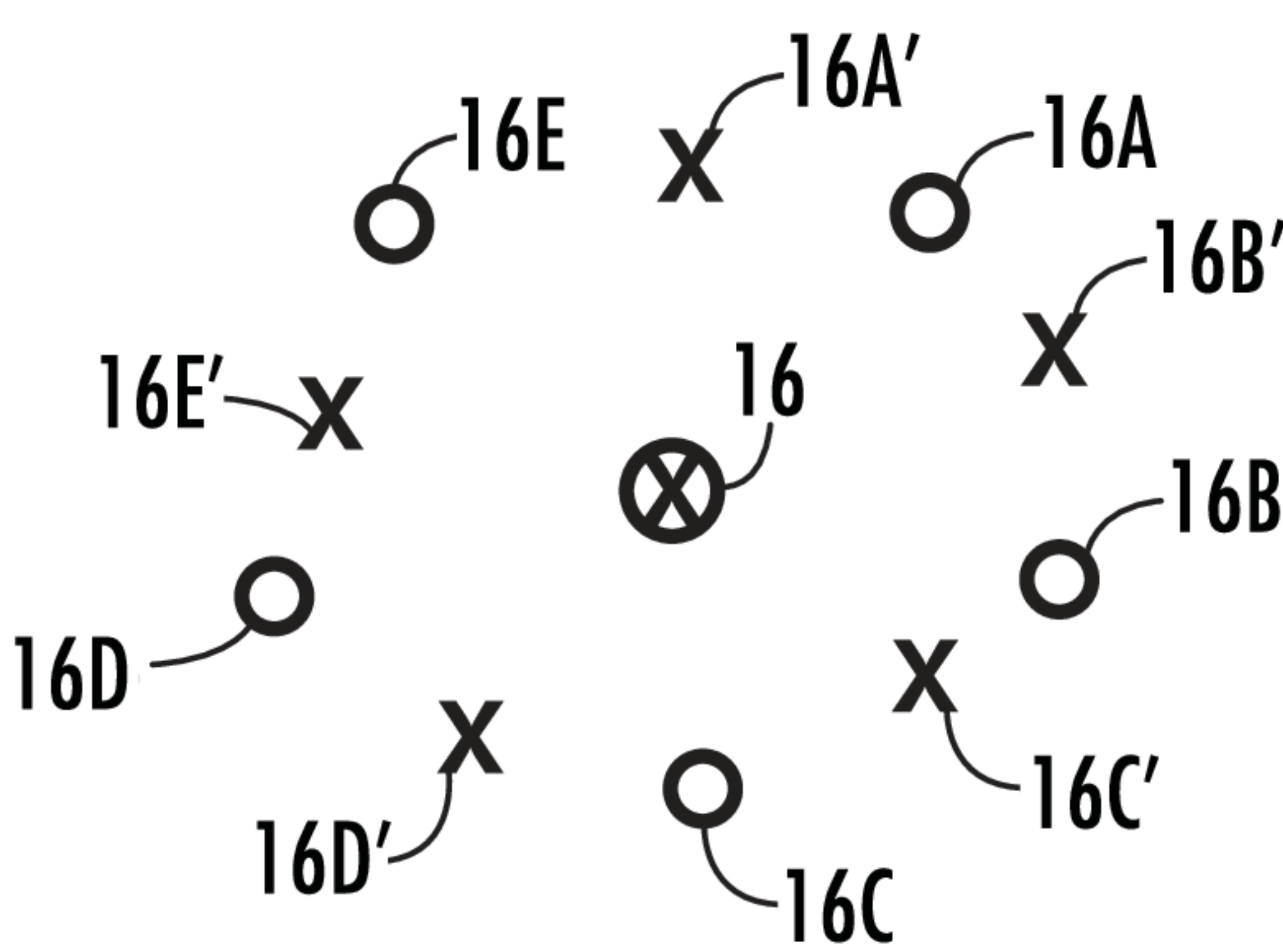
【圖 38】



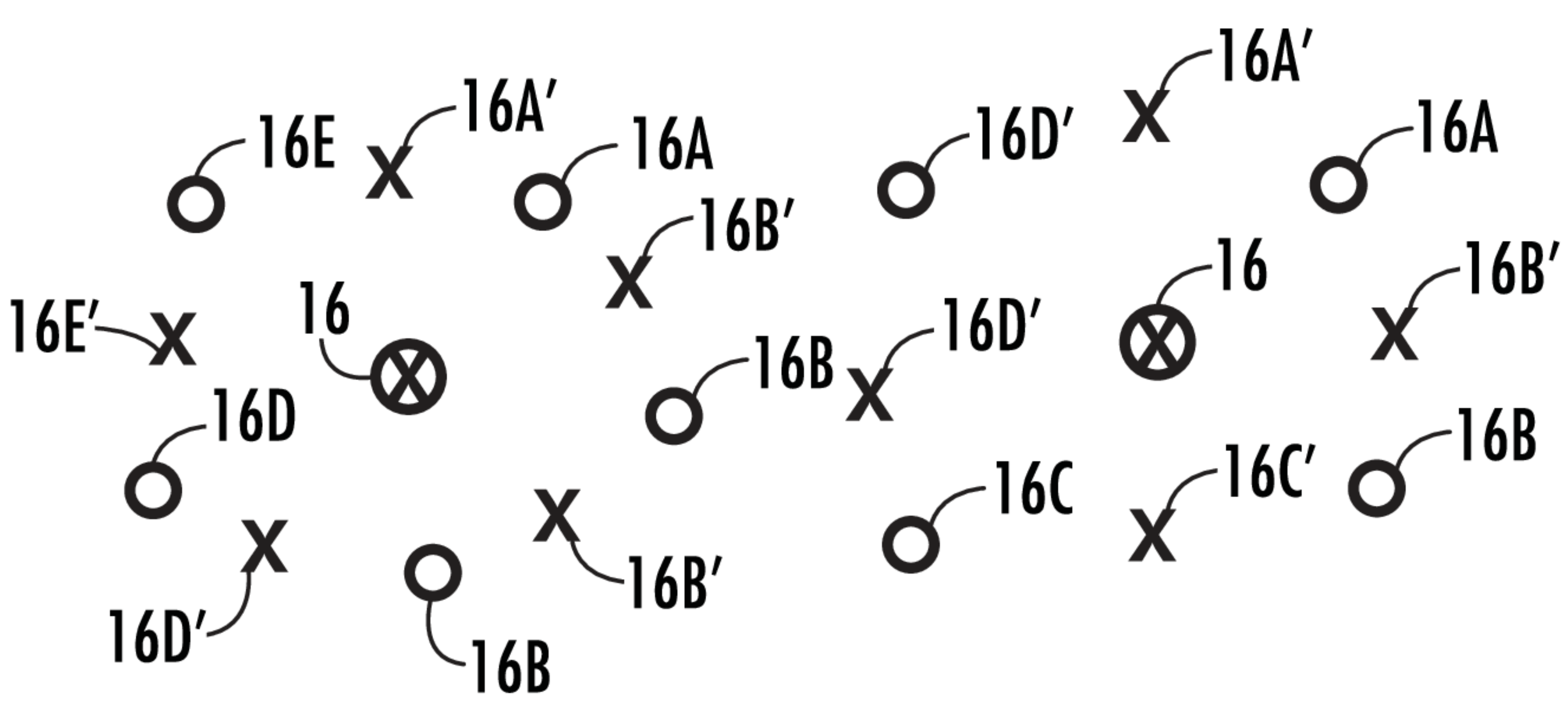
【圖 39】



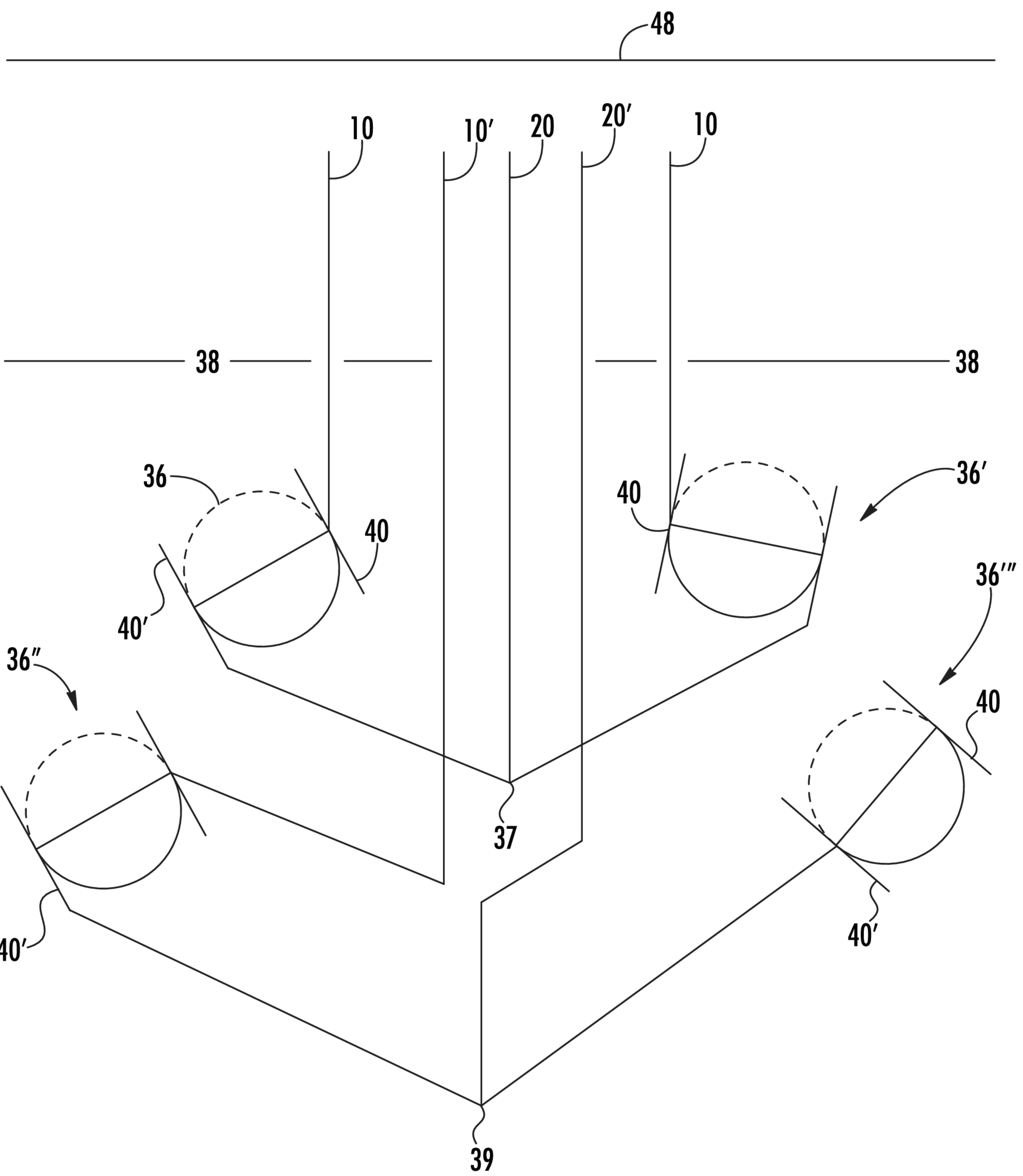
【圖 40】



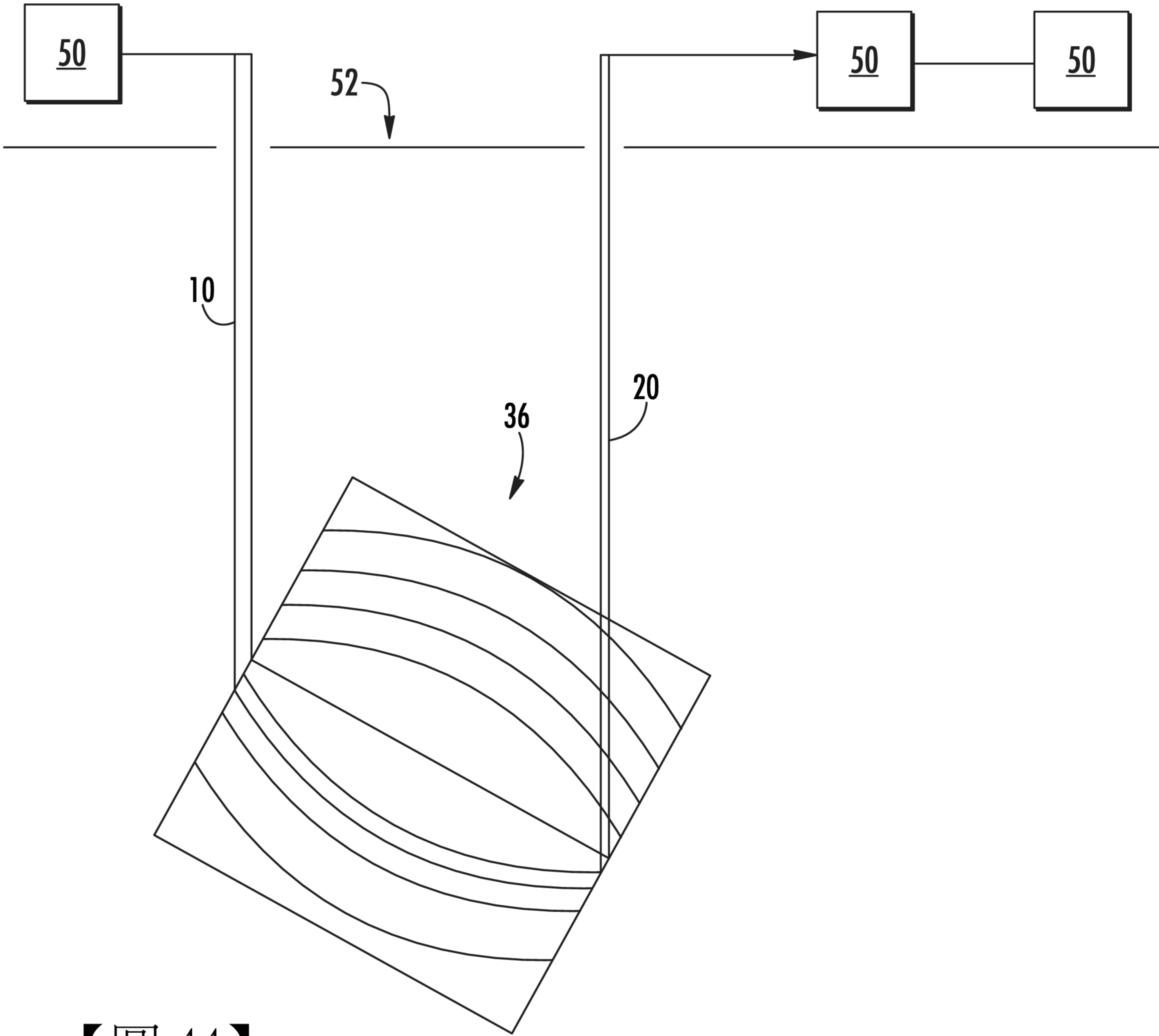
【圖 41】



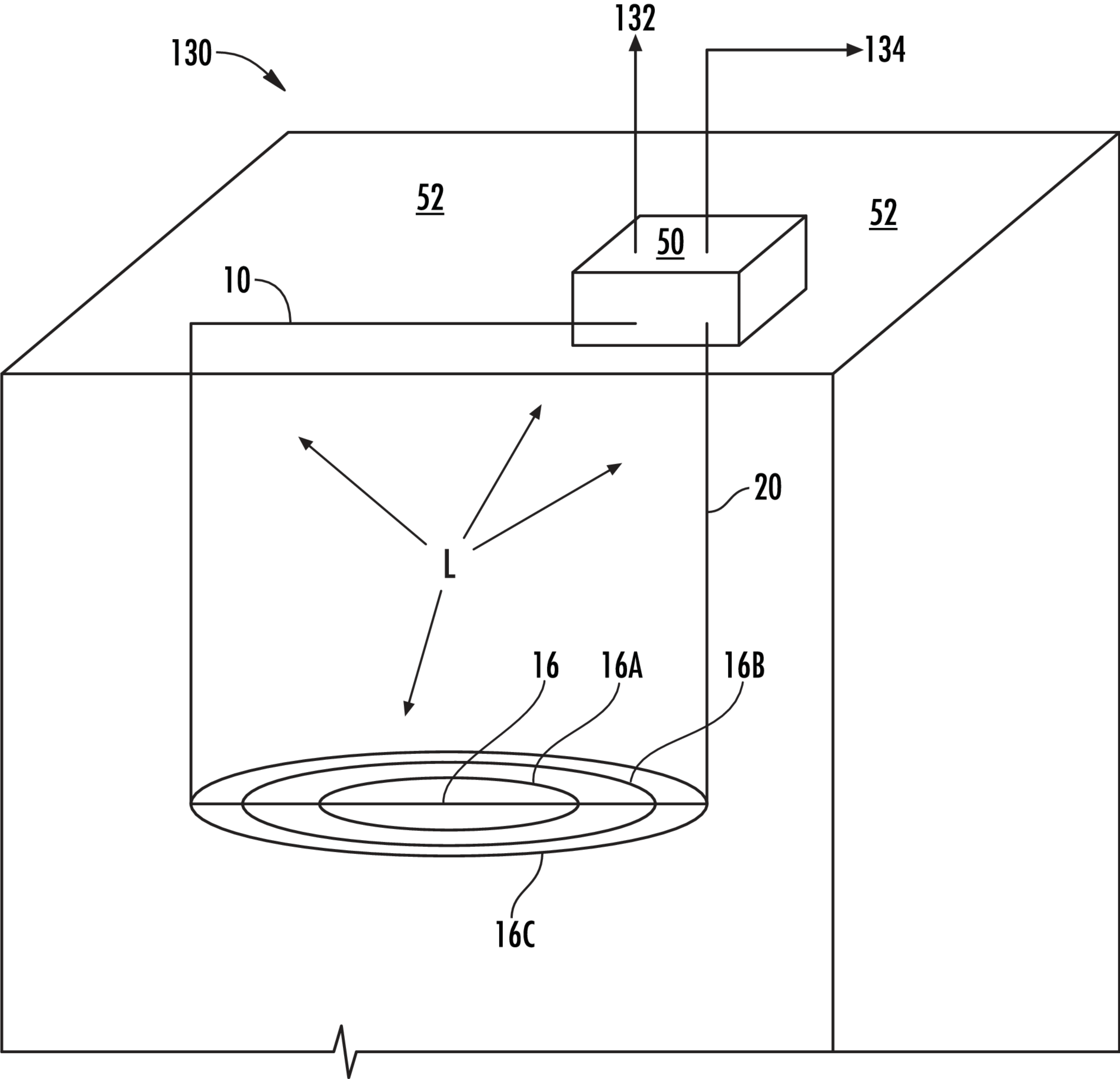
【圖 42】



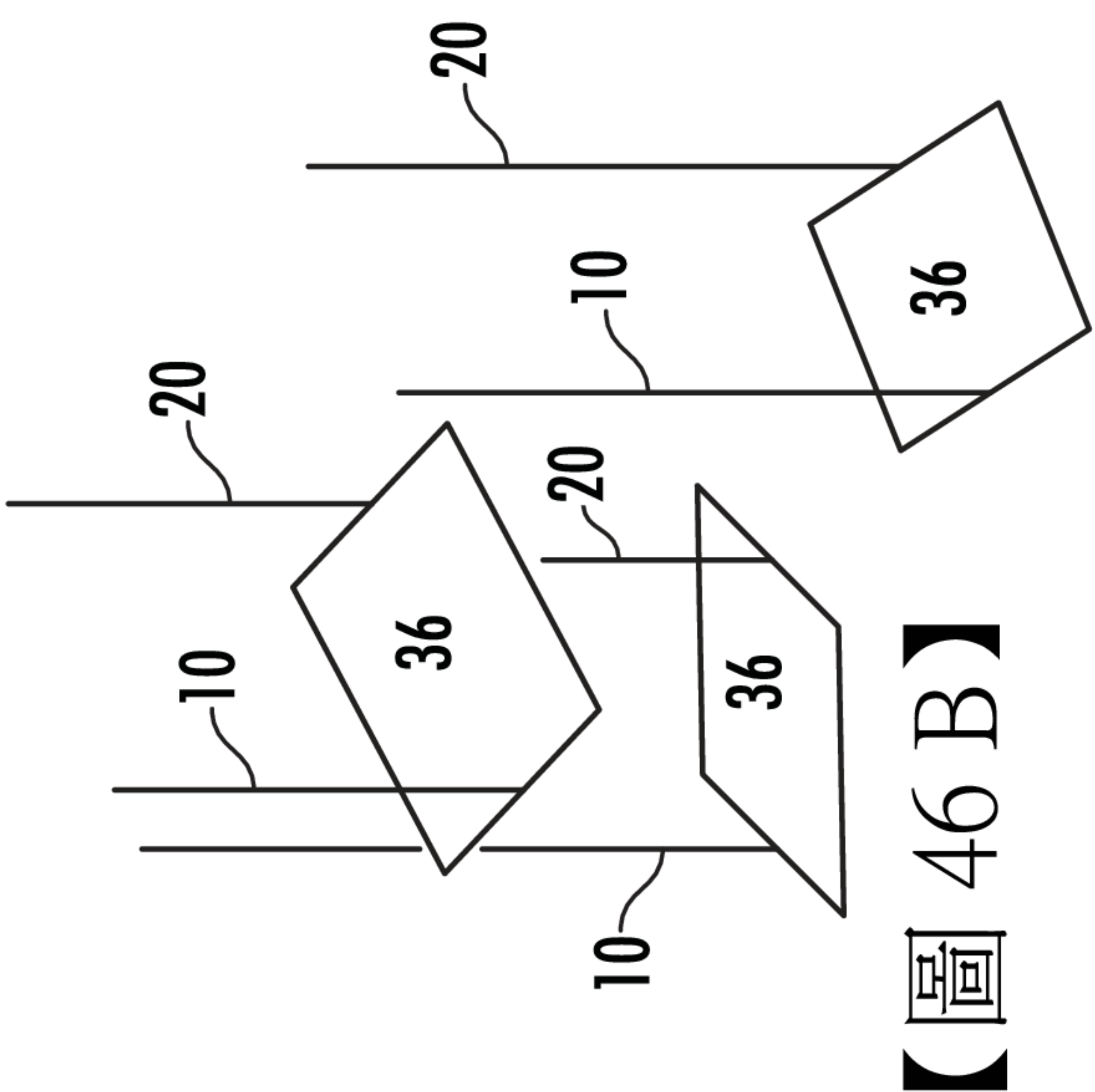
【圖 43】



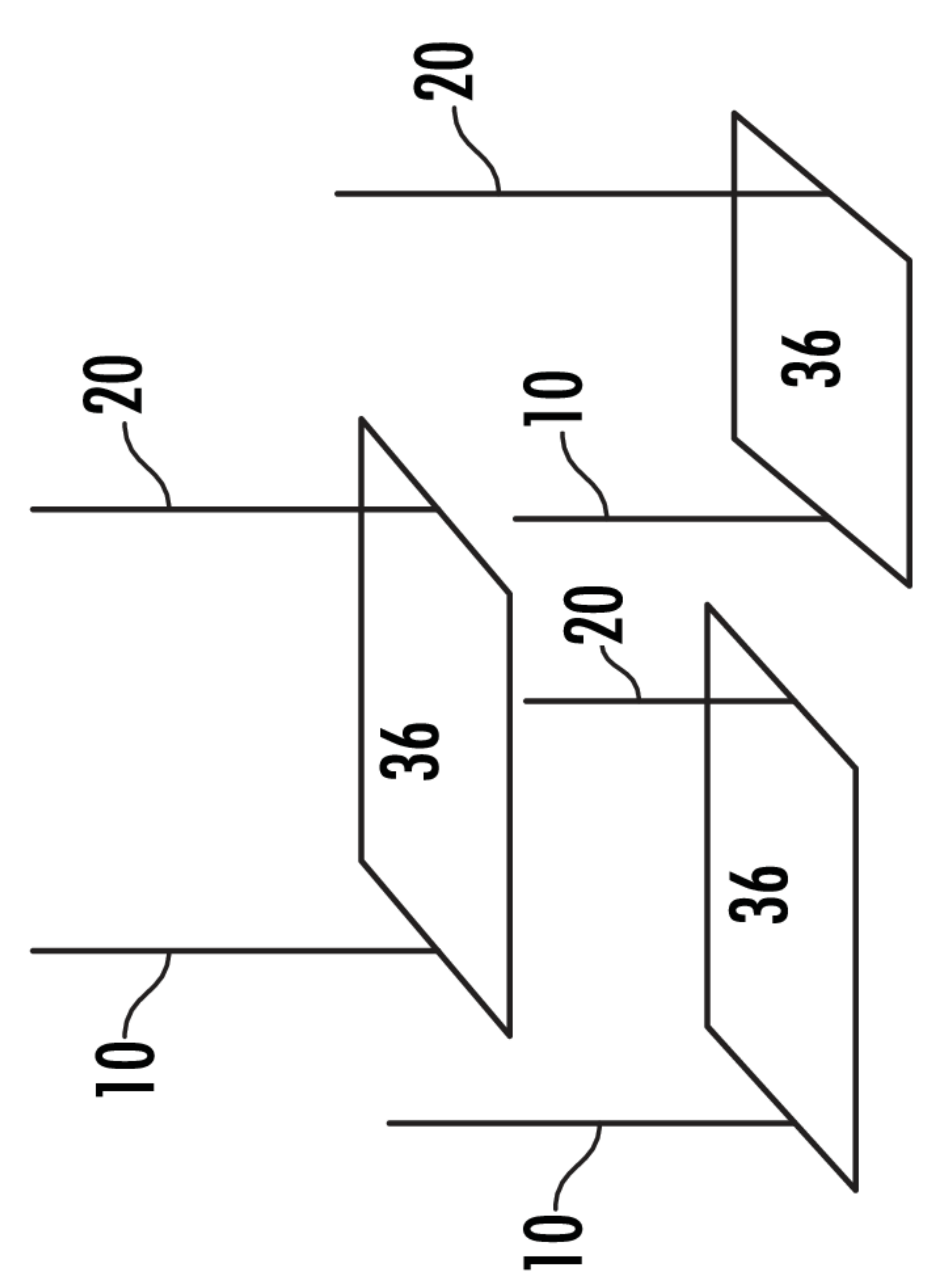
【圖 44】



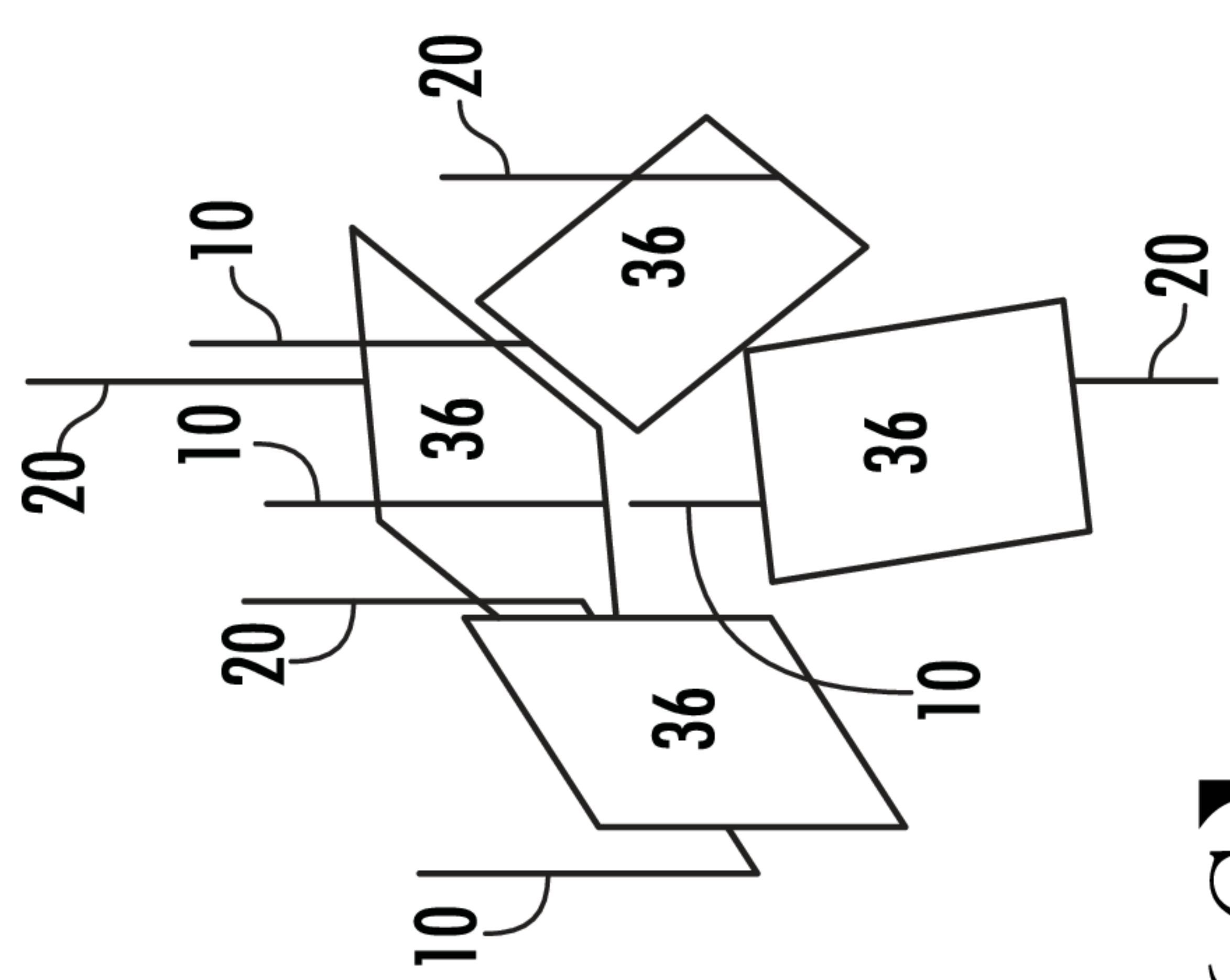
【圖 45】



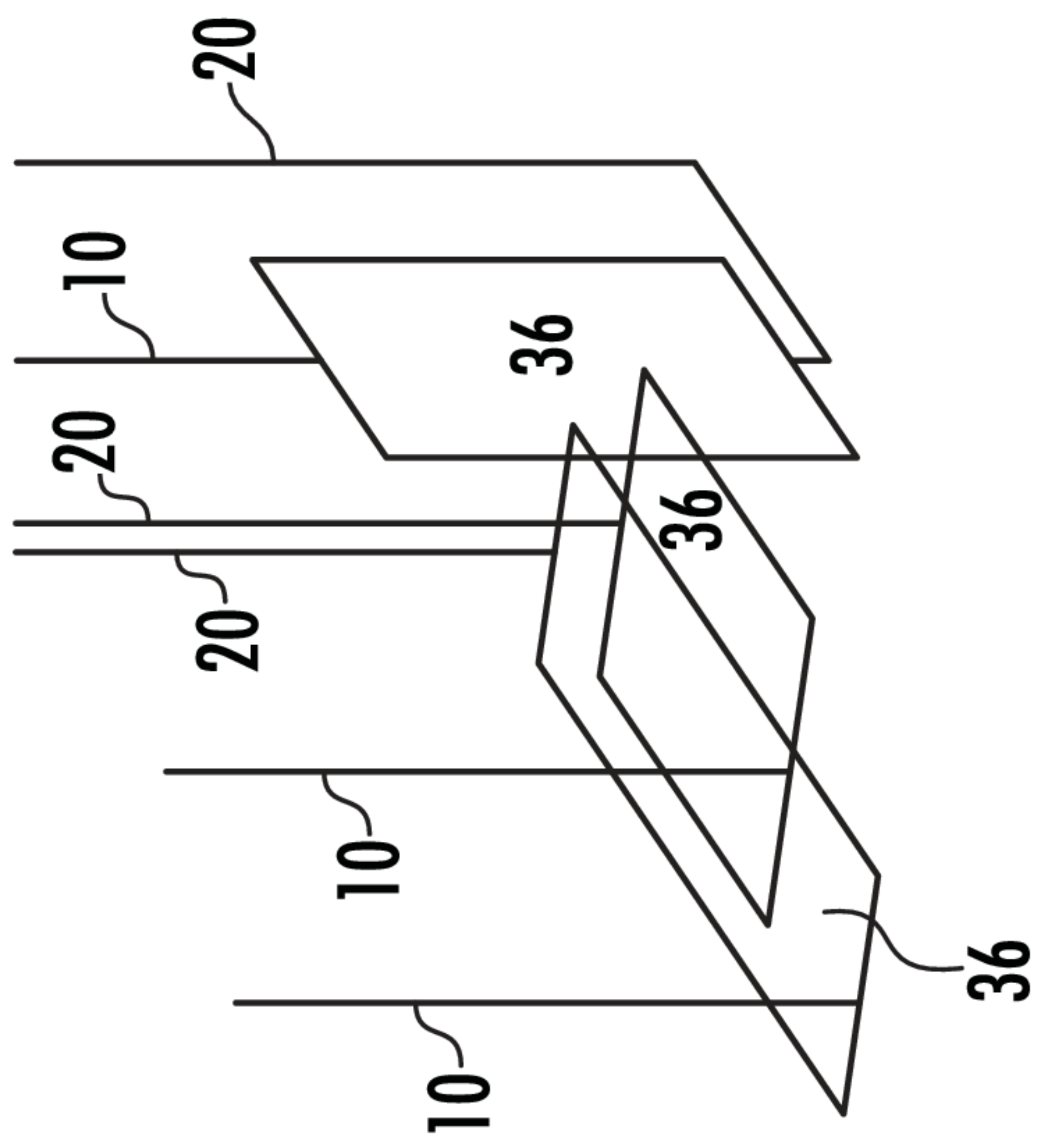
【圖 46 B】



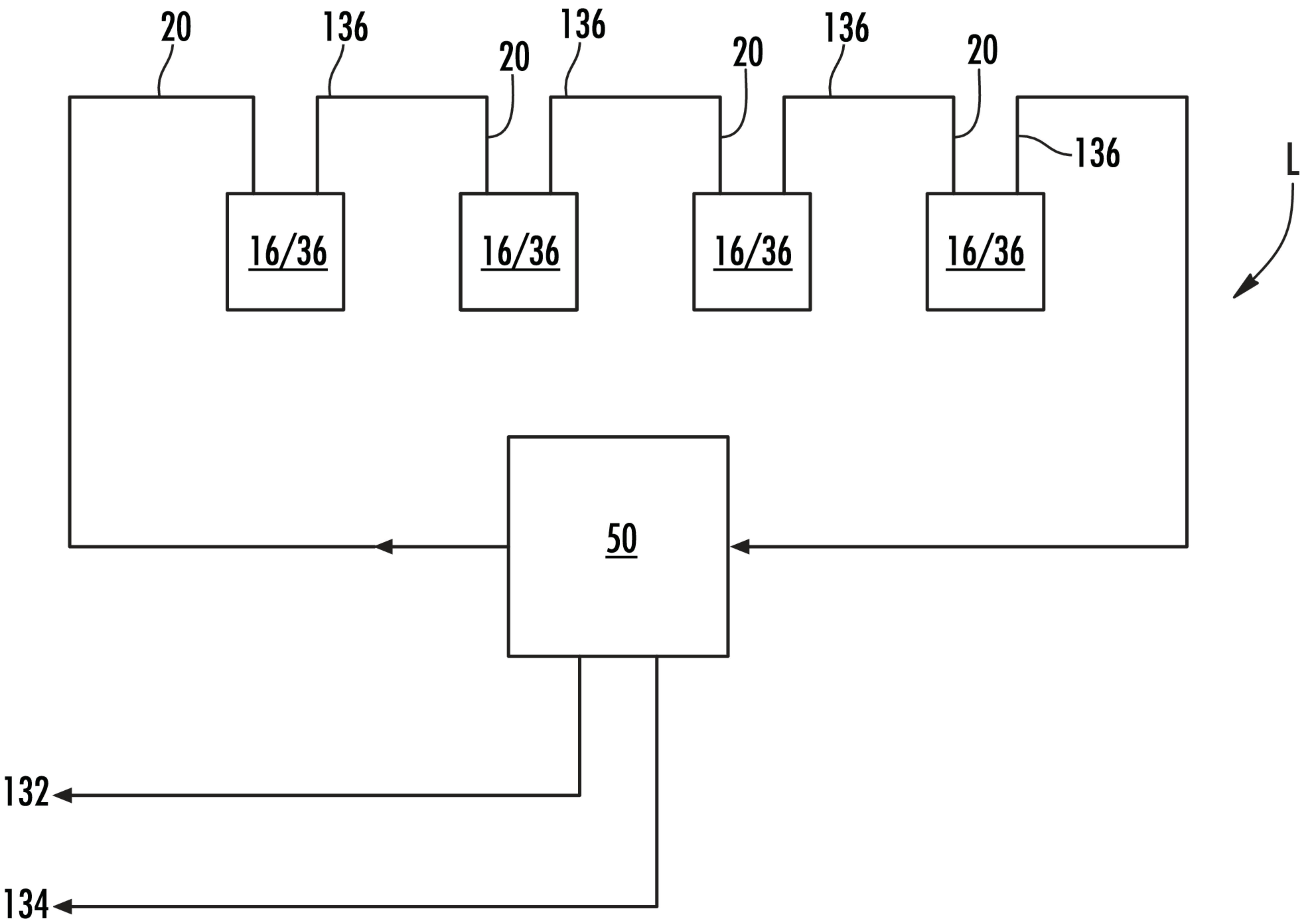
【圖 46 A】



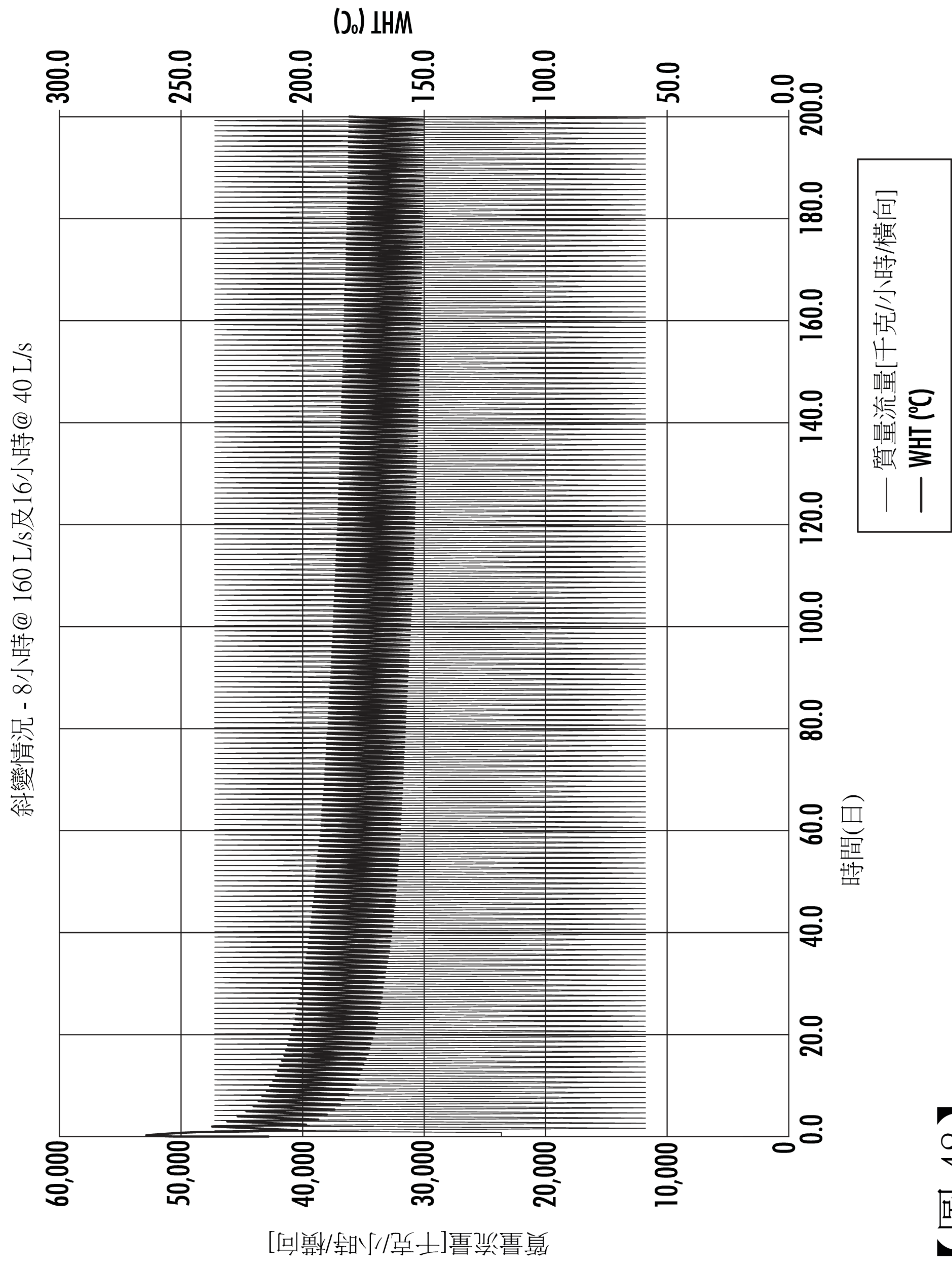
【圖 46 C】



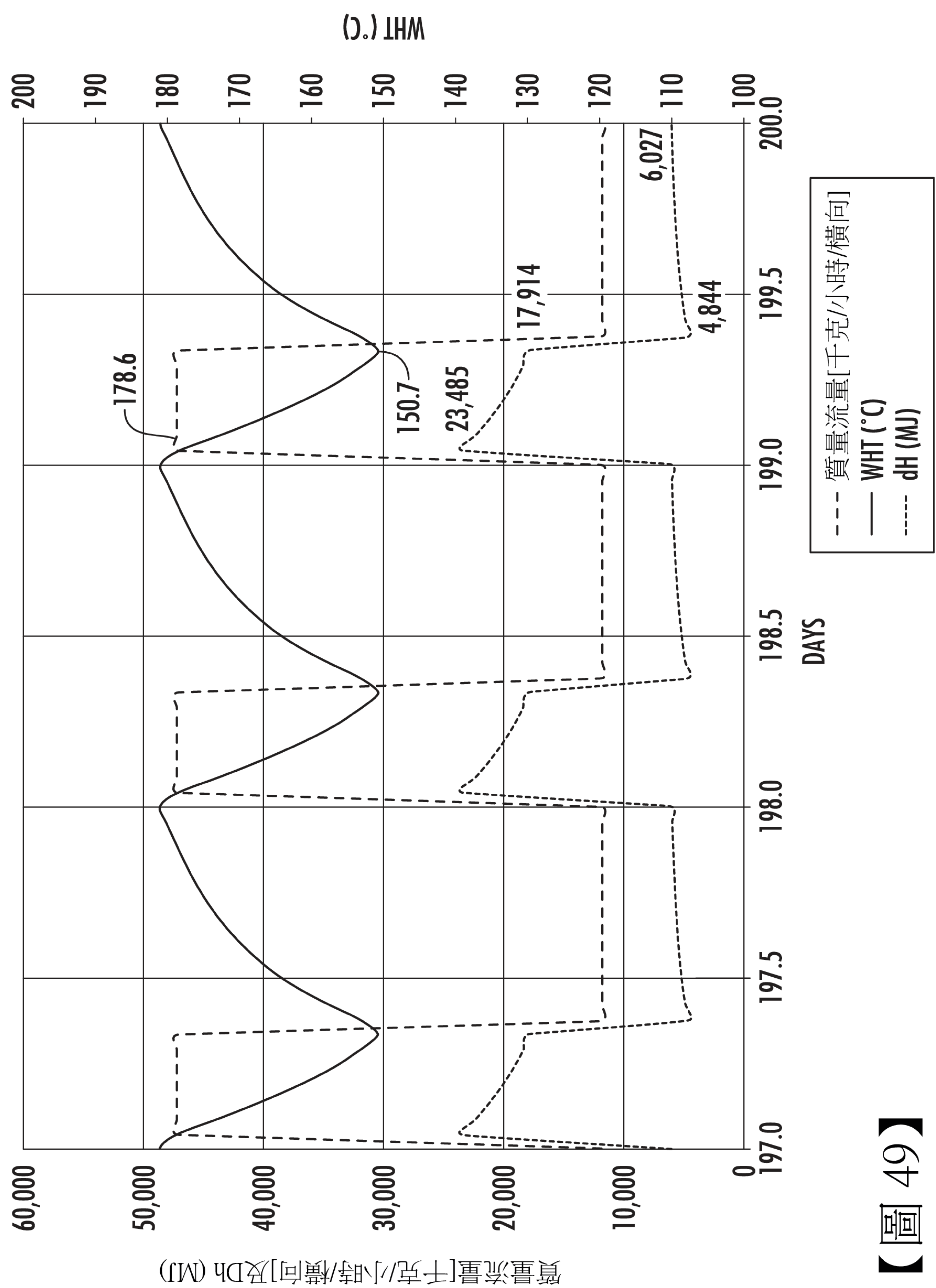
【圖 46 D】



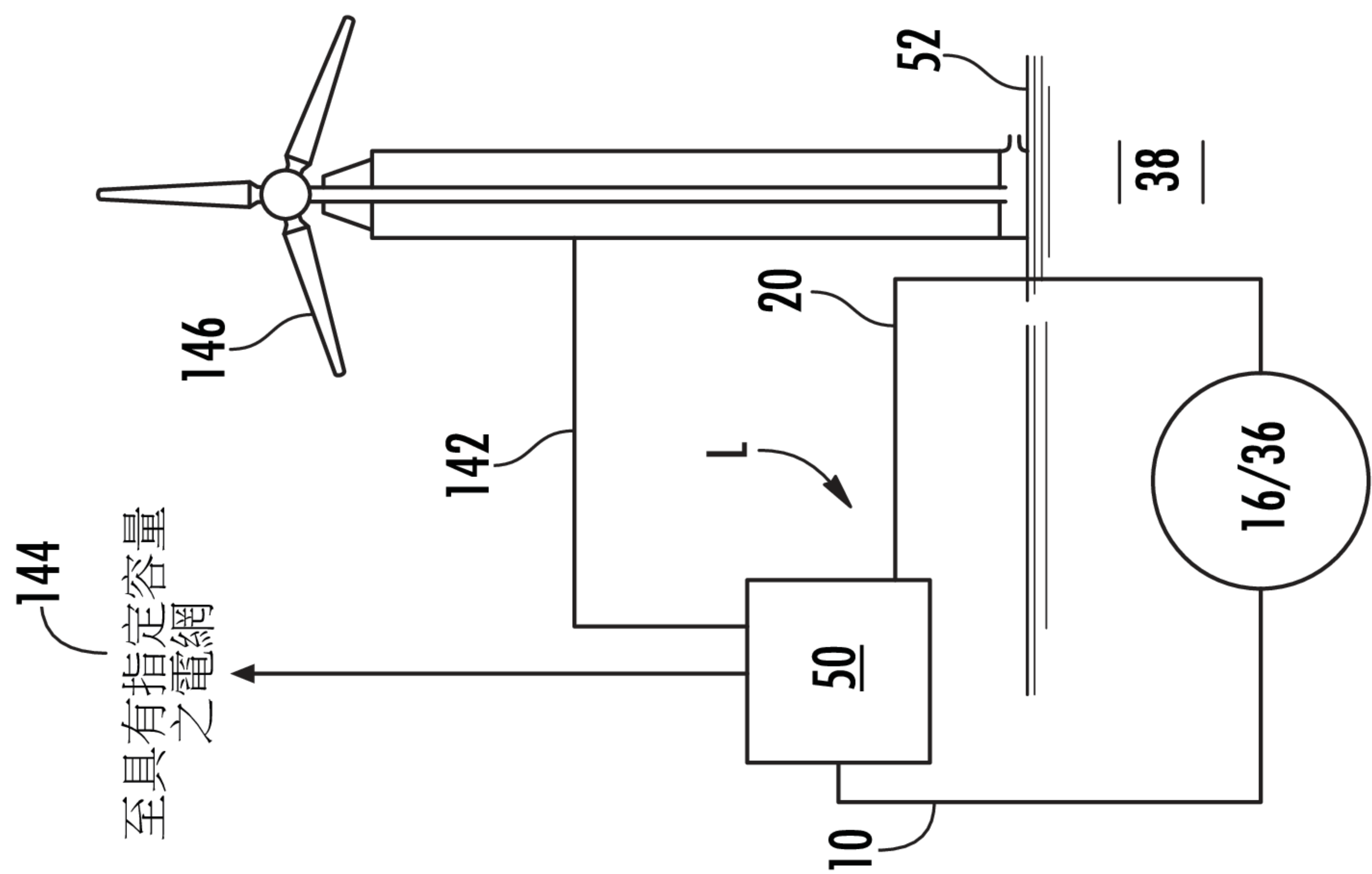
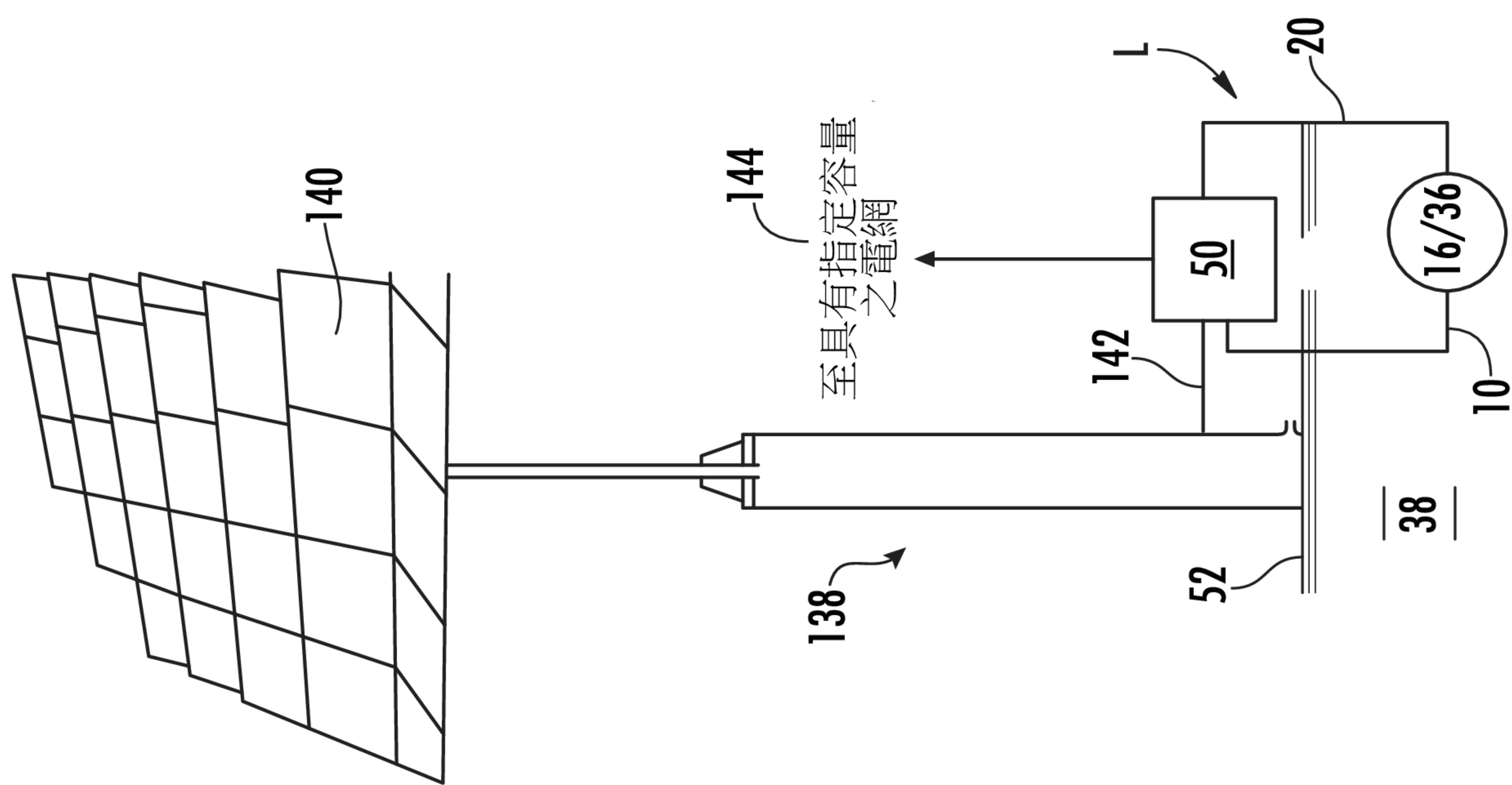
【圖 47】

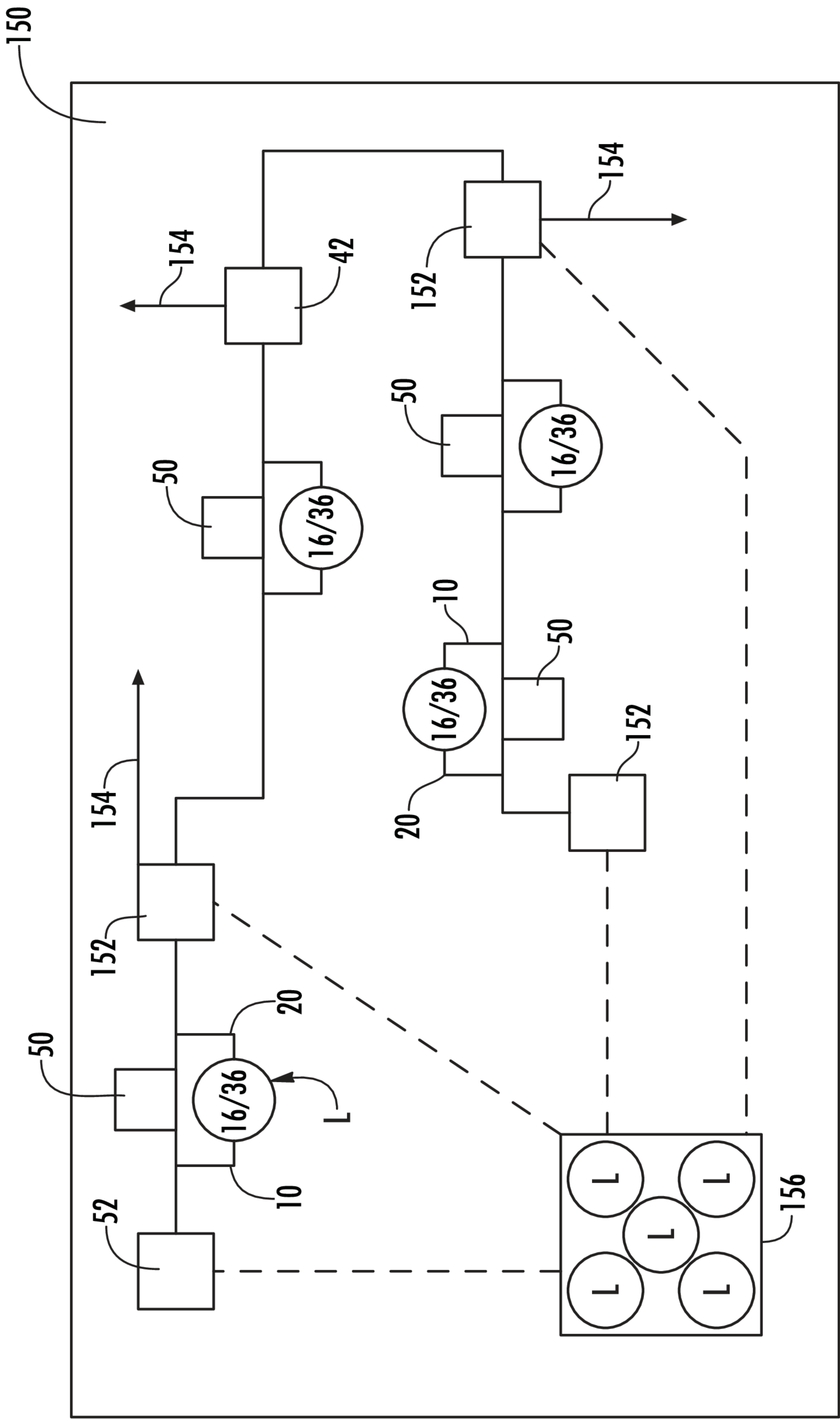


【圖 48】



【圖 49】





【圖 52】