



(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 202140914 A

(43)公開日：中華民國 110 (2021) 年 11 月 01 日

(21)申請案號：109141187

(22)申請日：中華民國 109 (2020) 年 11 月 24 日

(51)Int. Cl. : **E21B41/00 (2006.01)**

(30)優先權：2020/04/21 美國 63/012,952

2020/11/19 加拿大 3100013

(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)；霍姆斯 麥可 HOLMES, MICHAEL (CA)；海爾 強納森 HALE, JONATHAN (CA)；克緹絲史密斯 安德魯 CURTIS-SMITH, ANDREW (CA)；安德魯斯 彼得 ANDREWS, PETER (CA)；卡伶斯 保羅 CAIRNS, PAUL (CA)；托瑞 艾瑞兒 TORRE, ARIEL (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：77 項 圖式數：34 共 84 頁

(54)名稱

使用相變材料形成高效地熱井筒之方法

(57)摘要

揭露適合使用於地熱應用的數種井筒合成技術。提供數個具體實施例，其在高溫應用的排序作業中隨鑽密封裸孔鑽鑿井筒且利用相變材料形成在井筒/地層介面的一不透水層。該等技術可為化學、熱、機械、生物式，且完全旨在不可逆地損壞地層的滲透率。在滲透率無效下，井筒可用來建立閉環地面至地面地熱井，它在沒有用以熱傳遞地面的井套管下可作業以最大化至一循環工作流體的熱傳遞。揭露用於工作及鑽鑿流體的數種配方。

Wellbore synthesis techniques are disclosed suitable for use in geothermal applications. Embodiments are provided where open hole drilled wellbores are sealed while drilling in sequenced operations with utilization of phase change materials to form an impervious layer at the wellbore/formation interface in high temperature applications. The techniques may be chemical, thermal, mechanical, biological and are fully intended to irreversibly damage the formation in terms of the permeability thereof. With the permeability negated, the wellbore may be used to create a closed loop surface to surface geothermal well operable in the absence of well casing for heat transfer surfaces for maximizing thermal transfer to a circulating working fluid. Formulations for the working and drilling fluids are disclosed.

指定代表圖：

符號簡單說明：

10:入口井/鑽柱

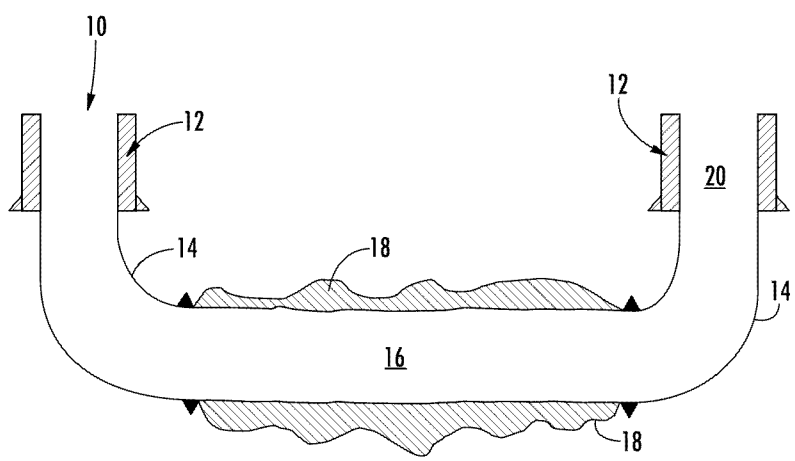
12:地面套管

14:中間套管

16:分支區段

18:密封孔隙空間

20:出口井



【圖3】



202140914

【發明摘要】**【中文發明名稱】**

使用相變材料形成高效地熱井筒之方法

【英文發明名稱】

METHOD FOR FORMING HIGH EFFICIENCY GEOTHERMAL
WELLBORES USING PHASE CHANGE MATERIALS

【中文】

揭露適合使用於地熱應用的數種井筒合成技術。提供數個具體實施例，其在高溫應用的排序作業中隨鑽密封裸孔鑽鑿井筒且利用相變材料形成在井筒/地層介面的一不透水層。該等技術可為化學、熱、機械、生物式，且完全旨在不可逆地損壞地層的滲透率。在滲透率無效下，井筒可用來建立閉環地面至地面地熱井，它在沒有用以熱傳遞地面的井套管下可作業以最大化至一循環工作流體的熱傳遞。揭露用於工作及鑽鑿流體的數種配方。

【英文】

Wellbore synthesis techniques are disclosed suitable for use in geothermal applications. Embodiments are provided where open hole drilled wellbores are sealed while drilling in sequenced operations with utilization of phase change materials to form an impervious layer at the wellbore/formation interface in high temperature applications. The techniques may be chemical, thermal, mechanical, biological and are fully intended to irreversibly damage the formation in terms of the permeability thereof. With the permeability negated, the wellbore may be used to create a closed loop surface to surface geothermal well operable in the absence of well casing for heat transfer surfaces for maximizing thermal transfer to a circulating working fluid. Formulations for the working and drilling fluids are disclosed.

【指定代表圖】 圖 3

【代表圖之符號簡單說明】

10:入口井/鑽柱
12:地面套管
14:中間套管
16:分支區段
18:密封孔隙空間
20:出口井

【特徵化學式】

(無)

【發明說明書】

【中文發明名稱】

使用相變材料形成高效地熱井筒之方法

【英文發明名稱】

METHOD FOR FORMING HIGH EFFICIENCY GEOTHERMAL
WELLBORES USING PHASE CHANGE MATERIALS

【技術領域】

發明領域

【0001】 本發明有關於地熱井筒建立和鑽鑿技術及排序，且更特別的是，本發明有關於修改給定地層之滲透率的方法，其另外用包括有助於鑽鑿高溫地層之相變材料的工作流體配方來建立有改良熱力及機械特性的高效地熱井筒。

【先前技術】

發明背景

【0002】 地熱能源回收為獲取能量的誘人方法且有考慮到可再生方面的顯著環境吸引力。

【0003】 先前技術專注於與以下有關的許多問題：滲透率、井幾何、工作流體、多分支井組態、發電量及溫度問題。將依序討論試圖改善這些問題的實施例。

【0004】 起初，關於地層損壞，Badalyan等人在2015年4月19-25日在澳大利亞墨爾本的2015年世界地熱大會記錄中的「Laboratory Study on Formation Damage in Geothermal Reservoirs Due to Fines Migration」中教導：

「在這裡，我們提出一種評定地熱儲集層中之地層損壞的新方法。眾所周知，地層損壞是由天然儲集層層細沙的移動性、遷移和抑留作用(straining)造成的.....速度誘發細沙遷移導致岩石滲透率的非顯著降低而引起初始地層損壞。之

後，低離子強度水的注入增加黏土顆粒與砂表面之間的靜電排斥力，使顆粒進一步移動而導致地層損壞。有混合層伊利石/亞氯酸鹽礦物的移動細沙由於堵塞孔喉而導致岩石滲透率減少」。

細沙遷移為油氣井中地層損壞的最廣泛物理機制中之一。在地熱領域最近有許多出版物報告由細沙遷移造成的井減損[我的強調]

【0005】 在基質滲透率地熱井之地層損壞機制的會議中：1981年1月21日美國阿布奎基(新墨西哥州)的國際地熱鑽鑿及完成技術會議，Bergosh等人的演講摘要指出：

「基質滲透率地熱層在鑽井及完成期間經受損壞。調查可能由於微粒入侵以及地層黏土、鑽鑿泥漿滲流和地層鹽水之化學相互作用而發生的井筒附近滲透率減損。各種過濾化學對於East Mesa砂岩之滲透率的測試表明滲透率明顯被低鹽度地層鹽水的流動損壞。此損壞歸因於改變黏土結構穩定性的陽離子交換和移除過程。流體剪切使顆粒變位而堵塞孔喉，這不可逆地降低滲透率。調查輸送泥漿之顆粒對於地熱層之影響的測試程式仍在進行中。描述基本原理、設備和測試程序。測試的最終結果將在會議上介紹。」[我的強調]

【0006】 顯然，在這些地熱環境中滲透率的損失對於井筒的生產和隨之而來的能源回收有重大影響。

【0007】 Tchistiakov在2000年5月28至6月10日在日本九州-東北的2000年世界地熱會議記錄的「Physico-Chemical Aspects of Clay Migration and Injectivity Decrease of Geothermal Clastic Reservoirs」中，陳述總結如下：

「滲透率損壞潛力只能通過思維開闊和跨學科的思維來評估，而不是通過數學方程式和實驗室測試結果的自動應用。吾等相信，更好地理解黏土顆粒穩定性和多孔介質中之輸送的基本物理化學原理有助於儲集層專家開發更好的技術且應用更有效的現有技術用以防止地熱儲集層的原位黏土誘發地層損壞」。

【0008】該論文確立黏土對受鑽井之滲透率的損壞。

【0009】 Barrios等人在2012年3月11-17日由UNU-GTP及LaGeo在薩爾瓦多之聖特克拉舉辦的地熱開發和地熱井短期課程中發表「Acid Stimulation of Geothermal Reservoirs」。作者表明：

「注入井和生產井都可能被堵塞，從而使其生產能力和注入能力降低到現有潛力以下。這些阻塞的主要原因可能是：鑽鑿流體(膨潤土泥漿為主)入侵儲集層的微裂縫內部；岩石碎片或岩屑在鑽鑿期間進入同時遭遇全井漏(total loss circulation)；進入大量的總溶解固體(Total Dissolved Solids)；有高砂石結垢潛力的回注水；形成被黏土遷移移位的細顆粒固體；在維持後由於冷卻及加熱過程而從回注管線進入非晶形矽石碎片；多孔襯裡及/或生產套管中的方解石結垢。確保用於發電之連線流動的關鍵是要控制阻塞的所有可能原因。眾所周知的事實是，地熱工業已使用石油工業的類似技術及措施持續50年。由於油氣井顯示與結垢問題及泥漿損壞有關的類比性，為了改善地熱井的注入能力及生產能力，可應用類似的技術來防止滲透率問題。具成本效益且被廣泛使用的解決方案是應用酸來溶解固體所產生的結垢及阻塞」。

【0010】 You等人在2015年6月3-5日在匈牙利布達佩斯的SPE歐洲地層損壞會議及展覽的「New Laboratory Method to Assess Formation Damage in Geothermal Wells」中提出一篇論文，其摘要陳述：

「提出這個新方法以評定地熱儲集層的滲透率損壞並預測井生產力下降。開發這個實驗室方法旨在判定源於天然儲集層細沙之移動性、遷移及抑留作用的滲透率下降。已用恆定且逐步減少的離子強度進行實驗室核心注入測試且測量沿著核心的壓降和累積流出液顆粒濃度。岩石滲透率的穩定化在注入許多孔隙體積後出現，相較於載體水速度，這提示移動顆粒的緩慢漂移。低離子強度水增加黏土顆粒與砂粒表面之間的靜電排斥力，使顆粒進一步移動且導致地層損

壤。高嶺石與伊利石/亞氯酸鹽混合層黏土礦物用SEM-EDAX分析鑑定而且是主要導致滲透率損壞的礦物。已觀察在溫度增加期間減少水黏度及弱化對於附著顆粒濃度之靜電吸引的競爭效果。細顆粒機械平衡的微觀建模顯示細顆粒附著的水黏度效應占主導地位。這導致高溫下細沙脫離減少以及滲透率下降」。

【0011】 轉向鑽鑿流體，已在減輕井筒固結問題、滲透、密封等方面做出許多進展。這些也有關於以上關於地層損壞的討論。

【0012】 在2000年5月9日頒給Chatterji等人的美國專利第6,059,036號中，提供用於密封地下區帶的方法及組成物。一般而言，該文表明：

「本發明提供用於密封地下區帶且終止鑽鑿流體之損失、交錯流動及/或地下井噴的改良方法及組成物。用於密封地下區帶的本發明方法基本上包含以下步驟：製備本發明的黏固延遲型密封組成物，放置密封組成物於要予以密封的地下區帶中且允許密封組成物在其中凝固成為剛性密封塊體。

本發明的密封組成物基本上包含水性鹼金屬矽酸鹽溶液，用於增加溶液黏度的稠化劑，以及用於聚合或交聯鹼金屬矽酸鹽且造成密封組成物凝固成為剛性密封塊體的延遲活化劑。

如上述，在涉及需要低密度密封組成物或在遭遇必須密封之大海綿狀地下區帶時的應用中，可使該密封組成物發泡以形成賦能膨脹的密封組成物。非發泡及發泡組成物也可包括填充劑及/或架橋劑以利填充及密封區帶」。

【0013】 該文獻展示鹼金屬矽酸鹽組成物用於防止失水和一般井筒密封的有效性很有用。

【0014】 在2010年6月22日頒給Ballard的美國專利第7,740,068號揭露用於穩定化未固結地層的矽酸鹽基井筒流體及方法。文中陳述：

「有利的是，本揭露內容的具體實施例可提供用於處理流體或丸劑，彼等可用來穩定化地層的未固結或弱固結區域。使用固體或微粒矽酸鹽沉澱劑可允許

矽酸鹽與矽酸鹽沉澱劑之間有較緩慢的反應或膠化時間。較緩慢的反應時間可允許矽酸鹽及矽酸鹽沉澱劑的凝膠組份在膠化前更完全地滲透未固結地層。另外，藉由提供作為微米或亞微米級固體微粒物的矽酸鹽沉澱劑，該矽酸鹽沉澱劑滲透地層可經歷更小的阻礙」。

【0015】 此文獻在證實矽酸鹽化合物有穩定化地層之用途的方面很有用。

【0016】 在2014年9月2日頒給Quintero等人的美國專利第8,822,386號提供用於鑽鑿及完成流體的奈米流體及使用方法。此文獻進一步添加到與鑽鑿流體有關的工作主體且教導此等流體在鑽鑿期間的用處。該文提供這方面的進一步細節。

「在一非限定性實施例中，含有奈米顆粒的鑽鑿流體預期在鑽鑿期間穩定化井筒很有用，特別是在鑽鑿期間遭遇的頁岩區域，這可能包含容易陷入井孔的區域或有在與作為鑽鑿流體之一部份被引進的水接觸時不合意地膨脹的黏土。此一鑽鑿流體可為例如WBM的水基流體、例如OBM或SBM的非水基流體、或彼等之組合，亦即，乳化液。表面活化劑的含量可有效地使奈米顆粒在流體中懸浮。預期有利於使流體在此類頁岩穩定化的奈米顆粒為含有與頁岩相關聯且協助它保持在原始狀態或儘可能接近原始狀態的機能者，亦即，強化井孔壁。有表面電荷的奈米顆粒可與此頁岩穩定化相關聯，例如碳奈米管。進一步，奈米顆粒的小尺寸允許它們很好地接近頁岩基質以抑制黏土的外表面及內表面以最小化對於頁岩結構的損壞」。

【0017】 高比率水性鹼性矽酸鹽在鑽鑿流體中的用途揭露於在2015年12月15日頒給McDonald的美國專利第9,212,304號。該教導提供關於此類組成物使用於油氣工業時之用途的進一步證據。該文獻表明：

「本發明提供在鑽鑿用於傳統及非傳統能源之井時用於穩定化井筒的方法，這些包括但不限於傳統油氣井、頁岩氣及「瀝青砂」。該方法提供一種鑽鑿

流體，主要可：與頁岩反應以防止水合及分散、密封微裂縫、防止頁岩脫層、防止瀝青堆積、允許鑽鑿耗盡區帶。

此發明使用更大更複雜的聚矽酸鹽陰離子，其出現在水性的高比率鹼性矽酸鹽中。這些高比率水性矽酸鹽超過傳統市售矽酸鹽的比例。相較於標準比率水性矽酸鹽，這些聚矽酸鹽陰離子促進更快的沉澱及聚合反應。較高的比率導致矽酸鹽有較低的鹽度使得鑽鑿流體對於環境更為友善。高比率水性鹼性矽酸鹽可以寬廣的濃度範圍添加到鑽鑿流體以實現必要的井筒穩定化。鑽鑿流體的可溶矽石位準以鑽鑿流體的重量計可在0.25%到約6%之間。鑽鑿流體的pH值最好維持在pH 10以上」。

【0018】 Stephen Bauer等人在2005年1月31日至2月2日在美國加州史丹弗之史丹弗大學的第三十屆地熱儲集層工程研討會提出的「High Temperature Plug Formation with Silicates」中揭露一種方法用於暫時堵塞油氣及地熱工業在鑽鑿作業期間常會遭遇的特定漏失循環液區帶。「這項工作描述一種化學溶液，它以環境友善且具成本效益的方式利用矽酸鹽的獨特稠化性質以形成充填劑供使用於斷水策略、蒸氣溢流及用於堵漏的高溫灌漿/堵塞」。該論文沒有考慮到基於矽酸鹽之鑽鑿流體對於密封井筒及多分支連接部以形成閉環地熱系統的配方及應用。

【0019】 哈利伯頓能源服務集團，在國際申請案之提起的世界專利第WO 03/106585號中，描述一種用於形成化學套管之方法，「井筒用鑽鑿流體鑽鑿，其pH在約6至約10之間且包含水、能夠接受及捐贈吸附於未固結黏土、頁岩、砂岩及其類似者之質子的聚合陽離子催化劑、可用熱固性樹脂交聯且造成樹脂在固化時變堅硬且強硬的水可溶或可分散聚合物、以及使聚合體交聯的水可溶或可分散熱固性樹脂，它是用催化劑催化及固化且使弱區帶或地層固結藉此防止崩塌」。

【0020】該文獻沒有考慮到鑽鑿流體對於密封井筒及多分支連接部以形成閉環地熱系統的配方及應用，也沒有考慮到密封在50年或更長的地熱系統的典型生命周期中的維持。

【0021】在哈利伯頓能源服務集團的美國專利第9,512,705號中可看到多分支技藝的另一實施例，其教導一種機械多分支井筒連接部以隔離數個水平井與周遭岩石。需要多個安裝步驟的複雜又昂貴機械或水泥連接部在先前技術的書籍中是典型的。這些多個安裝步驟必須中斷順向鑽鑿作業，例如使鑽頭及底孔總成浮出地面或等待水泥。

【0022】先前技術多分支連接部的另一缺點是井筒內徑的減少，這極大地複雜化後續多分支的鑽鑿，且可能需要較大的垂直井及母孔直徑。

【0023】關於先前技術的一般井幾何及發電/電力產生方面，在2001年10月16日頒發的美國專利第6,301,894號中，Halff教導一種基於閉環地下熱交換器的地熱工廠。該專利專注於與發電機位置、水保持及淨化、和有多個環路之效率有關的效益。該揭露內容未提及在不使用套管下有效率地建立閉環井筒的技術。

【0024】McHargue在2001年3月3日發行的美國專利公開案20110048005中教導一種閉環地熱系統。「此新穎方法是要經由連續地下管線使在此被稱為生產流體的流體或氣體循環通過地下熱岩地層，該連續地下管線用沿著由使兩個或多個獨立鑽孔相交製成之路徑的水泥拌澆連續管路形成」。

【0025】該揭露內容未提及在不使用套管下有效率地建立閉環井筒的技術。

【0026】Greenfire Energy公司，在國際專利PCT/US2016/019612中，提供「Geothermal Heat Recovery from High-Temperature, Low-Permeability Geologic Formations for Power Generation Using Closed Loop Systems」。該案的內文陳述：

「一種方法或設備，其使用在閉環井系統中的流體以從地熱資源提取熱量，

該等地熱資源位於高溫低滲透地質層中或附近以生產電力。在一些具體實施例中，該閉環系統可包括一或多個熱交換區帶，在此該一或多個熱交換區帶的至少一部份可設置在溫度至少 350°C 的地下區域內。該地下區域可在塑性區帶內或在塑性區帶的1000米內，該塑性區帶有至少 80°C /公里深度的溫度梯度。

根據一些具體實施例，描述本文用於產生地熱能量的方法可包括井部份不套上金屬管路，反而，該部份的壁部可為已用硬化密封劑密封的地層岩石且該部份的井壁由該硬化密封劑的邊界界定，在一些具體實施例中，相較於該井有加金屬套管的部份，這會造成在該部份的井直徑較大，且在有些情形下，更大。

在閉環熱交換系統的安置後，可使流體循環通過閉環地熱熱交換系統以加熱流體以及用加熱流體產生能量。例如，如熟諳此藝者所習知的，可將從地下地層提取的能量轉換為熱、電力、或其他可用的能量形式。

除了判定溫度曲線圖及熱補給曲線圖以外，根據本文具體實施例的方法基於溫度曲線圖及熱補給曲線圖可進一步評估用於產生地熱能量之地層的長期使用期限。進行此一分析可藉由模擬井隨著時間而改變的效能，考慮到例如溫度、熱通量、井附近地層隨著時間推移的塑性變形、及其他因素的變量，以評估系統之能量提取及能量轉換效率隨著時間推移的變化。也可進行此一分析以比較給定地層的不同部份來判定一或多個合適位置用以設置熱交換環路。

如上述，揭露於本文的具體實施例有關於設備及方法用以從高溫不滲透地層提取熱，其缺乏自然發生或者是通過刺激的裂縫或孔隙率。與先前教導相反且共識表明有效熱傳遞及發電量需要一定程度的滲透率從而對流，本發明人已發現，熱不滲透岩石可提供高效和可持續的資源供提取地熱能量以產生例如電力。

然後，基於地下地層的判定溫度曲線圖及判定熱補給曲線圖，可設置閉環地熱熱交換系統於地下地層內。如熟諳此藝者所習知，閉環地熱熱交換系統的安置可包括鑽鑿、套管、穿孔、水泥拌澆、使有裂縫的無套管井壁膨脹、密封無套管

井壁以及與鑽鑿過程及安置井環路於其中相關聯的其他步驟。在一些具體實施例中，該安置步驟可包括設置閉環井系統的熱交換區帶於地層的塑性區帶或脆性-韌性過渡區帶內。在一些具體實施例中，該安置步驟可包括或另外包括：設置閉環井系統的熱交換區帶於地層的脆性區帶內，以及刺激在熱交換區帶附近的脆性區帶」。

【0027】如前述，「閉環地熱熱交換系統的安置可包括鑽鑿、套管、穿孔、水泥拌澆、使有裂縫的無套管井壁膨脹、密封無套管井壁、以及與鑽鑿過程相關聯的其他步驟」。

【0028】沒有揭露與以下有關的方法、順序、化學或技術的教導：密封無套管裸孔井筒的長度、隨著時間推移維持密封、以及維持井筒整體性。

【0029】Mortensen在1978年10月卷3第5期的Energy期刊第639至644頁的「Hot Dry Rock: A New Geothermal Energy Source」中，於其文章的摘要教導如下：

「由洛斯阿拉莫斯國家實驗室執行的專案試圖展示從熱乾岩石地熱資源提取能量的技術經濟可行性。受測系統包含鑽入熱不滲透岩石且用液壓生成裂縫連接的兩個深井孔。在1977年9月，循環環路在第一次封閉且水循環通過井下儲集層以及通過一對10-MW(熱)熱交換器。為了評估能量提取系統的熱、化學及機械性質，1978年計畫一系列長期實驗」。

【0030】建立在地熱能量採集的開採上，Sonju等人在發行於2019年4月16日的美國專利第10,260,778號中主張：

「一種建立用於從有低孔隙率之熱乾岩石地層提取熱能之地熱能量工廠的方法，其中，鑽鑿組合式供給及返回孔(22)至第一預定深度，然後鑽鑿一孔至第二預定深度而形成組合式供給及返回孔之下半部(22')，其中，在該第二預定深度界定第一歧管區帶(8)，藉由鑽鑿相同式較小直徑孔(1')至最大深度來延伸組合式

供給及返回孔的下半部(22')，其中，界定第二歧管區帶(9)，藉此鑽鑿一或多個生產孔(P)以形成工作流體可在第一歧管區帶(8)與第二歧管區帶(9)之間循環的閉環，其中，安置管路(5)於組合式供給及返回孔(22，22')中且安裝密封(66)於該第一及第二歧管區帶(8，9)之間而密封在組合式供給及返回孔(22')下半部與管路(5)之間的環孔空間(20)以分離供給及返回流動」。

【0031】 鑑於上述先前技術，仍亟須從地層提取熱的方法，使得井筒有適當的密封及維持，用於不受限於特別是岩石類型、溫度、滲透率之地熱應用的閉迴路/環路幾何及多分支效率。

【0032】 已討論密封方面，此時將參考溫度問題。鑽鑿流體有數種功能，其包括以下關鍵功能中之一些：

- a) 將岩屑輸送到地面；
- b) 預防井控問題；
- c) 維持井筒穩定性；
- d) 最小化地層損壞；
- e) 冷卻底孔總成且潤滑鑽柱；
- f) 提供關於井筒的資訊；以及
- g) 最小化人員、環境及鑽鑿設備的風險。

【0033】 冷卻底孔總成(BHA)為鑽進熱岩石之地熱井及深層油氣井的主要考量。現代定向鑽鑿設備在鑽頭附近含有複雜的感測器、電子產品和機械設備。通常由電子產品及機械應力驅動的所有這些組件都有溫度限制。

【0034】 標準定向鑽鑿使用與彎向接頭結合的井下泥漿馬達(被廣泛認為是正排量泵)。在2019年，標準泥漿馬達及定向電子產品限制在150°C。最高額定溫度及更貴的泥漿馬達限制在180°C。在180°C以上，必須重新採取額定溫度為200°C 的 SLB 旋轉導向鑽井系統 (RSS)，實施例之一為

(<https://www.slb.com/drilling/bottomhole-assemblies/directional-drilling/powerdrive-ice-ht-rotary-steerable-system>)。由於有獨特的電子產品和加固設備，此類系統比標準設備貴好幾倍。

【0035】冷卻的另一個重要考量是鑽頭的使用壽命及效能。這在(<https://pdfs.semanticscholar.org/9f0e/a2af4b60d04e18e1ce7a8c828e96fe6d8d67.pdf>)中有討論。隨著溫度增加，通常為多晶鑽石密實體的鑿岩組件由於銑刀和鑽頭內材料的不同熱膨脹而導致更容易故障。因此，如果鑽鑿流體無法有效冷卻鑽頭，則可能出現減少的鑽進率和過早的失效。

【0036】當前最先進鑽鑿流體在封閉系統中無法有效冷卻鑽頭(亦即，在此進入可滲透地質層的失水量不太)。在封閉系統或幾乎封閉系統中，鑽鑿流體通過鑽頭離開鑽柱，以及井的環孔向上返回。穿過鑽柱(通常為鋼管)的逆流熱交換(counter-current heat exchange)造成環孔中的較熱返回流體傳熱到在配管內朝向鑽頭流動時的向下流動流體。這種逆流熱傳遞實質限制在BHA處之鑽鑿泥漿的冷卻效應，即使以極高的流率。該冷卻效應或先前技術鑽鑿流體限制在比正在鑽鑿之岩石溫度冷40°C的實際最大值。

【0037】現有地熱井可達200°C以上，或甚至350°C以上的岩石溫度。因此，這些井限制在垂直取向且無法使用現代感測器、測量及定向鑽鑿設備。在某些情形下，鑽頭由於漏失循環液(lost circulation)而被有效冷卻，就是在泵送鑽鑿流體向下到鑽柱、流出鑽頭、冷卻底孔總成且流出進入高滲透率地層而不回到地面的情況下(因而，循環液「漏失」)。在此漏失循環液情景下，排除熱流體在環孔中的向上逆流流動且標準鑽鑿泥漿有效地冷卻BHA。

【0038】這些漏失循環液地層在油、氣及地熱專案中很少見，且高度滲透區帶相比，發現緊密不透水的地層更為普遍。此外，上述鑽鑿流體的其他關鍵功能需要有良好的泥漿循環(大部份泵送流體在環孔中向上返回)。

【0039】除了冷卻之外，鑽鑿硬石地熱井的第二個挑戰是高岩石強度且導致現有鑽鑿技術的低鑽進率。鑽進率主要是岩石強度的函數，它可用數種方式測量及量化，例如無圍壓縮強度(UCS)或巴西拉伸強度。Kahraman等人在岩石力學及採礦科學國際期刊40(2003)期711至723頁的「Dominant rock properties affecting the penetration rate of percussive drills」中以及Nguyen van Hung等人在越南科學及技術學院科學及技術期刊2016年54(1)期133-149頁中的「Penetration rate prediction for percussive drilling with rotary in very hard rock」中有討論重點。

【0040】在鑽鑿閉環地熱系統時的第三個挑戰是在高溫下與井筒相交。磁測距技術(magnetic ranging technology)涉及在一井中放置發射器工具，以及在另一井中放置接收工具，以感測井筒之間的相對距離、傾角及方位角。該發射器通常為可設計成具有高溫度限界的稀土磁鐵，它沒有活動部件或電子產品。不過，該接收器一定是有電子產品及電路板的靈敏計磁器。這些組件難以建造成可抵擋高溫且通常為構造閉環地熱井所需之所有井下設備中最弱的一環。

【0041】在以解決溫度問題為目標的情形下，先前技術的重點是使用相變材料(PCM)以減輕標準鑽鑿流體固有的逆流熱交換併發症。眾所周知，PCM在恆溫經歷融合(熔化及凝固)，因此，它們吸收並釋放熱能而不會實質性地改變溫度。先前技術已經對此進行了探討，例如，在2017年9月12日頒給Quintero等人的美國專利第9,758,711號。

【0042】在該文獻中，使用一種PCM鑽鑿泥漿組成物，不過，值得注意的是，它只能獲得與水略微好點的冷卻(約5°C)。為了對ROP產生實質性影響，需要大於50°C的冷卻。

【0043】若應用描述於本文的方法，岩石可以冷卻100°C以上。使用於此文獻的實施例顯示有190°C的冷卻。

【0044】學術文獻表明，弱化效應與冷卻的量級有關。為了對ROP產生實

質性影響，需要大於50°C的冷卻。實質的弱化和拉伸破壞可在150°C的冷卻下發生，這僅靠水是無法實現的。

【0045】 本發明針對在高溫地層內鑽鑿的密封及溫度問題以提供井筒及地熱閉環熱回收系統的有效鑽鑿。也揭露各種冷卻方案以促進更深更熱鑽鑿情景以用最有效的方式最大化熱回收。

【0046】 本發明的技術針對各種技術領域的缺陷且獨特地合併用於建立鑽鑿及地熱工業之新方向的方法。

【發明內容】

發明概要

【0047】 本發明的一目標是要提供在整體上及地熱能源回收領域之鑽鑿技術的重大改良。

【0048】 一具體實施例的另一目標是要提供一種方法，其用於在鑽鑿作業中維持鑽鑿流體與正在鑽鑿之岩石表面的溫差，其包含選擇下列中之至少一者：一化學作業，其用於控制來自引進到該岩石表面之鑽鑿流體與從該鑽鑿作業返回之流體的熱傳遞；以及一機械作業，其用於控制來自引進到該岩石表面之鑽鑿流體與從該鑽鑿作業返回之流體的熱傳遞，該差量為90°C或更大。

【0049】 在某些具體實施例中，該方法利用這兩個作業，彼等可以一預定順序或同時地執行。

【0050】 該鑽鑿方法非常適合用於高溫應用且可在溫度至少有400°C的一高溫地質層中執行。

【0051】 在實施該方法時，地層中任何預先存在的裂隙、裂紋及空洞或在鑽鑿期間產生的都會被密封。

【0052】 關於該排序，可為由下列組成的一交替順序：i)鑽鑿同時密封一地層的孔隙空間，與ii)用一相變材料鑽鑿且隨後密封該孔隙空間，或個別地重覆處

於一預定組態的數個順序，亦即，由下列步驟組成的一順序：i)、i)及ii)、ii)；i)、ii)、i)及i)、ii)、i)，或任何其他合適組合。該排序由熟諳此藝者選定。

【0053】 隨著孔隙空間的密封，在被鑽地層與被鑽井孔的周邊之間形成一介面。在冷卻作業中，利用PCM材料(s)實現進一步的冷卻。合適的PCM材料實施例為本技藝所周知，例如描述於2017年9月12日頒給Quintero等人的美國專利第9,758,711號中者，考慮使用不同PCM組成物的混合物於可變溫度地層中。

【0054】 該相變材料用於控制來自引進流體與返回流體之間的逆流熱傳遞特別有效。

【0055】 在進一步的具體實施例中，該方法可包括：控制配管與該鑽鑿設備之環孔的壓力差，其中在該環孔中之該相變材料的最大融合溫度低於或等於在該配管中之該相變材料的最小融合溫度。

【0056】 維持該相變材料的流率以在該配管之底部附近保持至少部份固態，藉此使該鑽鑿流體的溫度低於正在鑽鑿之地層表面的溫度。

【0057】 鑽鑿流體內可包括以吸熱方式反應的合適試劑且該反應可經壓力活化。

【0058】 在替代具體實施例中，該化學作業可進一步包括：安置一絕緣鋪層(insulating blanket)，其緊鄰與引進到該岩石表面之鑽鑿流體和返回流體相關聯的該等熱傳導面。關於該鋪層的組成物，可選擇下列中之至少一者：液體、氣體、固體、發泡體、凝膠、相變材料、油、複合材料及彼等之組合。熟諳此藝者應瞭解其他可接受的化合物及組成物變體。

【0059】 關於該等機械作業，一實施例包括：用一絕緣材料處理該鑽鑿設備以減少進入該引進流體的熱傳遞。

【0060】 進一步，可選擇該鑽鑿設備中有低導熱係數的數個組件以減少進入該引進流體的熱傳遞。可使用數種材料的任何組合於此作用且會產生標準化

及預選定的導熱係數。

【0061】 為了輔助這些單元作業，通過維持該溫差可使該鑽鑿設備進入該地層的鑽進率相對於不維持該差量的該鑽進率顯著增加。

【0062】 本發明之一具體實施例的另一目標是要提供一種用於鑽鑿地質層的鑽鑿方法，其包含：排序i)隨鑽密封一地層的孔隙空間；與ii)用一冷卻作業鑽鑿且隨後密封該孔隙空間；以及用冷卻劑冷卻該地層中正在鑽鑿之一岩石表面，以使在該地層之鑽鑿期間的該鑽進率相對於不使用該冷卻劑的該鑽進率增加。

【0063】 在此具體實施例中，該方法可包括下列步驟：控制來自引進到該岩石表面之鑽鑿流體與返回流體的熱傳遞；以及控制鑽鑿設備與引進流體之間的熱傳遞以提供在該岩石表面與該引進鑽鑿流體之間有90°C或更大的溫差。

【0064】 作為一選項，可使以下兩個步驟交替：用該冷卻劑鑽鑿，以及使密封劑循環以在該地層中密封該孔隙空間。

【0065】 隨鑽密封孔隙空間的排序利用在該鑽鑿流體中的一鹼性矽酸鹽組成物。

【0066】 該排序可以一交替順序執行。

【0067】 該密封孔隙空間便於在被鑽地層與被鑽井孔的周邊之間形成一介面。為了增強該作業，使化學組成物在井孔內循環而能夠與該介面誘發沉澱形成的步驟強化該介面的密封能力及機械整體性。

【0068】 更進一步，該方法可包括下列步驟：使在該密封井孔內的一工作流體循環，該密封井孔包含一介面維持添加劑用以於該工作流體在該井孔內循環期間維持不滲透性。

【0069】 在一實施例中，鑽入該地層的步驟包含：鑽鑿一入口井及一出口井以與一輔助裝置形成一閉環，該閉環的至少一部份設置在該地層的一熱產生區內。

【0070】預料有任何合適閉環配置，例如，其包括：有一封閉終端的一L形井；管中管井配置；成群閉環U形井，彼等與該群組中連接至另一群組成員之一輸入井的一輸出井成員隔開；有共同地連接至一各自入口井及出口井之複數個分支井的一閉環U形井；有共同地連接至一各自入口井及出口井之複數個分支井的複數個閉環U形井，其中該等複數個分支井的配置是為了熱接觸而以該等分支至少部份交錯的方式配置；以及彼等之組合。

【0071】在一實施例中，該熱產生區為一地熱區帶，它可為高滲透率地層、低滲透率地層和可變滲透率地層、以及彼等之組合。

【0072】作為本發明之一具體實施例的又一目標，提供一種將井筒鑽入用於熱回收之地層的方法，其包含：在一鑽鑿作業期間，在該井筒與該地層形成對流體實質不滲透的一導熱介面，該介面的形成係藉由使用下列中之至少一者來誘發該井筒的不可逆滲透率損壞：在一成形介面與該井筒之間沒有輔助材料下的一熱機制、機械機制、化學機制、與生物機制，該鑽鑿作業選自i)同時鑽鑿和密封、ii)鑽鑿且隨後密封、以及iii)彼等之組合。

【0073】鑽鑿且隨後密封包含：用在鑽鑿期間冷卻正在鑽鑿之該岩石表面以及在該鑽鑿作業中可作業之數個鑽鑿組件的動態冷卻鑽鑿，接著是，用引進到該鑽鑿井筒之一未密封區段中的一附加密封劑材料密封。

【0074】本發明之一具體實施例的另一目標是要提供一種利用有配管之一鑽柱與一周圍環孔的鑽鑿方法，其包含：提供含有一相變材料的一鑽鑿流體；排序：隨鑽密封一地層的孔隙空間，與用該相變材料鑽鑿且隨後密封該孔隙空間；控制該配管與該環孔之間的一壓力差，其中，在該環孔中之該相變材料的最大融合溫度低於或等於在該配管中之該相變材料的最小融合溫度；維持該相變材料的流率以在該配管之底部附近保持至少部份固態，藉此使該鑽鑿流體的溫度低於正在鑽鑿之地層表面的溫度；以及用該相變材料冷卻該地層正在鑽鑿之一岩

石表面，以使在該地層之鑽鑿期間的該鑽進率相對於沒有該相變材料之該鑽進率增加。

【0075】該鑽鑿流體溫度的維持係通過該相變材料在該鑽鑿流體之循環期間的活性相變。

【0076】流率將基於地層溫度來選擇。

【0077】揭露於本文的技術變體可廣泛應用於不同的情景，其中之一是補救。因此，本發明之一具體實施例的又一目標是要提供一種用於補救井的方法，該井包括下列中之至少一者：由鑽鑿或碎裂技術造成的數個碎裂區段、在一泥土地層內的未固結岩石及沙子，該方法包含：排序i)隨鑽密封下列中之至少一者的孔隙空間：由鑽鑿或碎裂技術造成的該等碎裂區段、該地層中未固結的岩石及沙子，與ii)用一相變材料鑽鑿且隨後密封該孔隙空間；以及用該相變材料冷卻該地層正在鑽鑿之一岩石表面，以使在該地層之鑽鑿期間的該鑽進率相對於沒有該相變材料之該鑽進率增加。

【0078】處理該井和該等碎裂區段、未固結岩石及沙子中之至少一者的孔隙空間係藉由添加能夠在該等區段形成一沉澱不透水介面的一初步化學組成物；以及用一第二化學組成物處理該介面用以使任何未反應的初步化學組成物沉澱以進一步密封該介面。

【0079】一初步化學組成物可包含一鹼性矽酸鹽流體，其包括矽酸鋁鉀、矽酸鋁鈉及矽酸鋁鈉中之至少一者。

【0080】作為本文所述技術的另一適用領域，本發明之一具體實施例的另一目標是要提供一種方法，其用於轉換有下列中之至少一者的地熱井為密封閉環地熱井：由鑽鑿或碎裂技術造成的數個碎裂區段、未固結岩石及沙子、流體連通的一入口井與一出口井，該方法包含：排序i)隨鑽密封下列中之至少一者的孔隙空間：由鑽鑿或碎裂技術造成的該等碎裂區段、該地層中未固結的岩石及沙

子，與ii)用一相變材料鑽鑿且隨後密封該孔隙空間；以及用該相變材料冷卻該地層正在鑽鑿之一岩石表面，以使在該地層之鑽鑿期間的該鑽進率相對於沒有該相變材料之該鑽進率增加；以及使能夠形成一沉澱不透水且導熱介面於該入口井與該出口井之間以及於下列中之至少一者中的一初步化學組成物循環：由鑽鑿或碎裂技術造成的該等碎裂區段、未固結岩石及沙子，藉此用該入口井、該出口井、以及位於其間的區域形成一封閉的密封井環路。

【0081】該工作流體在該閉環內可連續循環、以一可變方式循環、或者它可包括數個靜止期。

【0082】作為本發明的又一目標，提供一種用於鑽入地層的鑽鑿方法，其包含：動態冷卻正在鑽鑿之一岩石表面且密封在該地層中之一所得井筒之孔隙空間的步驟利用在一單一作業中能夠冷卻及密封的一組成物，其中，該冷卻及密封一起發生。

【0083】使用地層滲透率損壞技術在井筒構造技藝是違反直覺的，特別是依賴通過孔隙率、裂隙、裂紋、等等之流體遷移的地熱技藝。

【0084】該方法論採用破壞技術以減少井壁的滲透率到只有傳導熱傳遞從地層周圍岩石傳遞熱到設計成可回收所傳遞之熱的工作流體中的程度。

【0085】立即效益從此技術進化而來，亦即，減少或完全不使用套管和連接部。此一特徵導致鑽鑿過程的巨額節省，後者包含與地熱開採相關聯的大部份成本。

【0086】通過化學化合物及處理排序的創新選擇，合成井筒與周圍地層的不滲透介面。結果是帶有表面、塗層或介面的自我修復井筒，當集成於真正地面至地面的閉環迴路中時，提供基於破裂之地熱作業和整個迴路依賴套管者的優良替代方案。

【0087】該鑽鑿同時密封作業(drilling while sealing operation)可連續且將包

括數個間歇期，在此進行鑽鑿且只隨後密封該井筒的一鑽鑿分段。以此方式，鑽鑿同時密封可不連續。

【0088】 便於通過該相變材料在該鑽鑿流體之循環期間的活性相變來維持該鑽鑿流體溫度。該流率可基於地層溫度來選擇。

【0089】 可選擇該底孔總成(BHA)的作業參數以在選定的流率下誘發跨越該BHA的一所欲液壓壓降。

【0090】 其他作業參數包括，例如，PCM組成化學物、PCM體積%、流率以及該配管與該環孔之間的壓降。

【0091】 熟諳此藝者會明白，過剩的化學組成物可用來實現該介面的合成。為此，可使用在與在井筒周圍之岩石一起沉澱之該鑽鑿流體中的這些化合物。至於該第二處理，可使用與在該第一處理後留下之任何未沉澱組成物反應的任何合適化合物。

【0092】 可選擇該工作流體以優化該地熱系統的熱力學效能以及增強該井筒的機械整體性。該井筒的附加處理作業(treatment operation)在鑽鑿後可用來實現此事。

【0093】 由於有效地有未反應反應組成物的一儲藏量，該井筒在該介面有任何密封問題時，都能自我修復。因此，該工作流體不僅以最大的工作效率從該地層提取熱能，也進一步確與低維持性結合的保密封整體性。

【0094】 這樣就概括地描述了本發明，此時參考附圖，圖解說明數個較佳具體實施例。

【圖式簡單說明】

【0095】 圖1的圖形表示用於各種流體配方之滲流體積(filtrate volume)隨著時間平方根而改變的曲線；

【0096】 圖2的圖形表示描繪於實施例1之化學密封核心注入測試的差壓及

滲透率資料隨著時間而改變的曲線；

【0097】 圖3的示意橫截面圖表示在位於入口井與出口井之間的分支區段中沒有套管下密封的井；

【0098】 圖4的視圖與圖3類似，其圖示在分支區段中的套管柱分段以及與其密封劑的關係；

【0099】 圖5的視圖與圖4類似，其圖示在有裂隙之可忽略滲透率地層中的密封井筒配置；

【0100】 圖6示意圖示數個分支互連井分段的多分支配置；

【0101】 圖7的放大示意圖圖示圖6的密封多分支井筒區段；

【0102】 圖8示意圖示一替代地熱井組態；

【0103】 圖9示意圖示地熱井組態的另一替代具體實施例；

【0104】 圖10示意圖示地熱井組態的另一替代具體實施例；

【0105】 圖11示意圖示地熱井組態的另一替代具體實施例；

【0106】 圖12示意圖示地熱井組態的另一替代具體實施例；

【0107】 圖13為圖12的俯視圖；

【0108】 圖14示意圖示地熱井組態的另一替代具體實施例；

【0109】 圖15示意圖示地熱井組態的另一替代具體實施例；

【0110】 圖16的橫截面圖示在高滲透率地層內的鑽鑿井筒，其圖示未反應密封劑的儲藏量；

【0111】 圖17為與圖16類似的視圖，其圖示井筒介面在與工作流體循環接觸後的轉變；

【0112】 圖18的示意橫截面圖表示在低滲透率地層中的鑽鑿井筒以及與周圍地層的介面；

【0113】 圖19示意圖示地熱井筒方法的一電力循環實作；

【0114】 圖20示意圖示圖19的一替代具體實施例；

【0115】 圖21為圖20的一替代具體實施例；

【0116】 圖22示意圖示一集成地熱迴路，其包含由該地熱工作流體直接驅動的一渦輪及發電機；

【0117】 圖23示意圖示圖22的一替代具體實施例；

【0118】 圖24的圖形表示不同工作流體的溫度資料-距離曲線；

【0119】 圖25示意圖示一W形或菊鍊地熱井組態；

【0120】 圖25A為圖25之互連井構造的放大圖；

【0121】 圖26示意圖示圖25的一替代具體實施例；

【0122】 圖27示意圖示圖25的一替代具體實施例；

【0123】 圖28示意圖示圖25的一替代具體實施例；

【0124】 圖29圖示典型的鑽鑿作業、流體流動及熱傳遞；

【0125】 圖30的圖形表示水及基於揭露於本文之PCM之鑽鑿流體沿著井長的系統溫度；

【0126】 圖31的圖形表示冷卻岩石表面以弱化其機械強度的效應，其用於在用鑽頭破壞之前的預調節；

【0127】 圖32的圖形表示在高於及低於關鍵流率之不同流率下沿著井長的PCM相態(液體或固體)；

【0128】 圖33的圖形表示配管及環孔中由壓力控制的融合溫度範圍；以及

【0129】 圖34的圖形表示BHA ΔP 對冷卻效能的影響。

【0130】 圖中類似的元件用相同的元件符號表示。

【實施方式】

【0131】 在概述中，本文的技術有關於井筒構造及設計，並以閉環地熱井筒為例。設計方面包括：

- i) 隨鑽密封該井筒，用相變材料鑽鑿且隨後依序密封；
- ii) 在鑽鑿後用化學處理增強密封；以及
- iii) 置換鑽鑿流體，事後用循環工作流體鑽鑿，這用自我修復任何剩餘或產生的滲透率來增強及維持密封並維持井筒整體性。

【0132】 此法的靈活性允許取決於特定的地層地質獨立地使用這些方面中之每一者，不過，它們在整合及協同工作以建立及維持閉環地熱系統時最有效。

【0133】 該等井筒可以有任何個數的組態，例如有入口/出口的單一U形管、入口及出口井位在同一個地面租借礦區的U形管；可呈垂直、偏斜或水平的「管中管」組態，以及包括「菊鏈」這些井筒中之數個在一起；呈L形等等。這些為實施例且非旨在限制。熟諳此藝者會明白其他合適配置。

【0134】 上述方面在用來形成多分支井筒時特別有效，其中，通常以有多個水平井連接一垂直帶管入口井與一垂直帶管出口井的U形管組態，將複數個分支連接至一垂直井。若使用多分支組態，可實現本領域未認識到的數個優點。這些包括：

- i) 該等分支可經起頭、鑽鑿及完成的裸孔，這避免與安裝套管有關的費用及時間；
- ii) 在單一步驟中，可建立及隨鑽密封該等「裸孔」連接部。這避免複雜的機械連接部、水泥澆注、鑽出充填劑或金屬區段、到地面有多條旅程、以及通常複雜化及費用與複雜井下過程相關且導致正向鑽鑿延遲；
- iii) 不實質減少內徑，這致能要鑽鑿的分支數沒有限制；
- iv) 由在鋼襯裡與岩石之間的絕緣水泥層或停滯環孔建立的導熱係數不會減少；以及
- v) 致能重新進入有磁測距設備的多分支以與其他分支井筒相交且建立封閉U形管井筒組態。

【0135】 關於在隨鑽密封方面，實現這可藉由使鑽鑿流體本身內含有造成不可逆地層損壞且減少滲透率減到零或可忽略位準的添加劑。

【0136】 該等添加劑可為生物成長促進劑，例如使用於Microbial Enhanced Oil Recovery的技術、建立防滲濾餅的物理微粒、或在接觸時反應且滲入地層的化學密封劑，例如時間定形或熱定形樹脂及環氧樹脂、凝膠及聚合體。

【0137】 用於隨鑽密封該井筒的另一方法是要例如使用高溫電漿或基於雷射之鑽頭來熱密封有極高溫使井筒壁熔化之岩石的表面。

【0138】 較佳方法是要使用化學密封劑，例如基於鹼性矽酸鹽有大於10.5之pH的鑽鑿流體，它在井筒內仍為液體，但是在接觸時沉澱為固體且滲入岩石。該鑽鑿流體的技術功能在可滲透岩石(例如，砂岩或碎裂基岩)不同於不滲透岩石，例如硬頁岩或粉砂岩。在可滲透地層中，液體鹼性矽酸鹽鑽鑿流體在反應並凝固為固體之前鑽進任何可用流動路徑。所得固體沉澱物被浸漬且溶入在岩石本身內的孔隙空間及自然裂縫且在井筒與地層之間建立流體不能滲透的屏障。

【0139】 反之，在滲透率接近零的岩石中，例如頁岩，鑽鑿流體的功能不是要密封滲透率，因為岩石已經沒有。反之，鑽鑿流體的功能是要在岩石與井筒之間提供一種機械及化學屏障且填滿任何自然裂縫、裂隙、或劈裂平面。最終結果相同，在井筒與地層之間建立流體不能滲透的屏障。

【0140】 該密封劑也可用來固結未固結的沙子、增加岩石的壓縮強度、以及防止出砂和掉渣。

【0141】 眾所周知，可溶矽酸鹽包含3種組份，亦即，矽石、鹼金屬及水。矽石(二氧化矽， SiO_2)為可溶矽酸鹽的主要成分且用鹼金屬穩定化。鹼金屬可選自氧化鈉、氧化鉀或氧化鋰(Na_2O 、 K_2O 或 Li_2O)且負責維持矽石的可溶性。

【0142】 合適矽酸鹽包括矽酸鋁鉀、矽酸鋁鈉及矽酸鋁鈉。這些產品的取得形式可為液體及粉末。矽酸鹽使用於此技術合乎需要，因為它們可經歷不同類

型的化學反應，亦即，為可溶矽酸鹽結構之自我聚合或凝結以形成有含水非晶形凝膠結構之矽酸鹽的膠化(pH下降)。膠化由pH下降引起且在pH低於10.5時開始快速聚合。

【0143】 矽酸鹽可經歷的另一種反應是陽離子沉澱，例如鈣。矽酸鹽的沉澱為矽酸鹽分子與多價陽離子(亦即， Ca^{+2} 、 Mg^{+2} 、 Al^{+3} 、 Fe^{+3} 等)的交聯。這些陽離子存在於地層水中，因此，鑽鑿流體與地層流體的相互作用導致固體沉澱於孔隙空間內。

【0144】 矽酸鹽經歷的又一種反應是脫水。在從液體矽酸鹽除去水時，矽酸鹽逐漸變得更黏且更黏稠，最終變成玻璃狀薄膜。這些為在來自鑽鑿流體的滲流與岩石基質內的流體混合時在附近井筒中發生的反應。

【0145】 矽酸鹽在此地熱應用有特別吸引力，因為它們在周遭條件以及極端高溫下為穩定的密封劑。例如，鑄造廠及液體金屬鑄造業使用溫度在 650°C 及以上的鹼性矽酸鹽及砂，且此一基本化學反應也用來以周遭溫度密封混凝土結構。

【0146】 鹼性矽酸鹽鑽鑿流體配製為不含固體且黏度低以最大化井筒流體入侵及初瀉失(spurt loss)以化學式密封井筒。對於多分支水平井分段，磨擦為重大挑戰，因此添加與矽酸鹽鹽水相容且不會實質干擾密封劑性質的潤滑劑。

【0147】 活性鹼性矽酸鹽在水中的濃度可在0.3%至10%質量之間，但是更有可能在3%至6%之間。最佳濃度在某種程度上取決於地質性質，例如原位鹽水組成物及溫度。較高岩石溫度可能造成沉澱反應延遲。同樣，原位鹽水有例如低於1000毫克/升之低濃度多價陽離子的地層產生較慢的反應。因此，當岩石溫度增加且多價陽離子濃度減少時，鹼性矽酸鹽的濃度應該會增加。

【0148】 矽酸鹽鹽水的輔助效益包括增進鑽進率(ROP)，且增加鑽頭壽命。

【0149】 組合岩石/密封劑材料的物理性質主要來自岩石，但是藉由小心選

擇密封劑的性質可修改。導熱添加劑可包括在鑽鑿流體中，例如石墨烯奈米顆粒，使得所產生的密封劑有高導熱係數。

【0150】 使用由有多個熱阻在流體溫度與遠場岩石溫度之間之離散化井筒組成的熱力學井筒模型，可決定閉環地熱系統的能量輸出。每個離散化分段有做成的能量及質量平衡，其中，用狀態熱力學套件的方程式處理流體性質及計算。熱傳遞阻力包括岩石、水泥、鋼套管、以及井筒本身內的對流熱傳遞阻力。

【0151】 作為一數量實施例，使用與有導熱係數為 3 W/m K 之地層接觸的7吋套管及水泥井，岩石、水泥、套管及管路對流在作業5年後的熱阻分別為 $2.2\text{E-}02$ 、 $2.1\text{E-}03$ 、 $2.9\text{E-}05$ 及 $5.0\text{E-}5$ 。熱傳遞由通過岩石的徑向傳導主導，且相較之下，所有其他熱阻可忽略。使用描述於本文的化學密封劑，來自套管或水泥的熱傳遞沒有阻力，因此熱效率約為高於先前技術方法的9%。藉由增強塊狀岩石/密封劑材料的導熱係數，可進一步增加熱傳遞。

【0152】 藉由加入固體微粒，可進一步增強鹼性矽酸鹽密封劑，該固體微粒組配製成可變成化學嵌入/鍵合於鹼性矽酸鹽沉澱物內，以改善密封效能及機械整體性。鑽鑿流體可加入例如脫落的粉煤灰、表面活化式石墨烯及氧化石墨烯、碳纖維及其他的強化材料。這些可處於奈米分散或微米分散狀態且與沉澱矽石化學鍵合。

【0153】 在做完初始隨鑽密封後，測試密封的整體性。通常，如本工業所常見的，這是藉由加壓井筒系統且若有的話監控降壓速率完成。另一方法是通過在循環作業期間之漏出率(leak-off rate)的長期測量。在此情形下，移除該鑽鑿流體並換成主要目的是要傳遞能量至地面的工作流體，且在正常作業期間測量漏出率。

【0154】 儘管密封在鑽鑿後實質完成，然而有些小區仍有較小滲透率，例如沒有充分隨鑽密封的碎裂區帶或高滲透率溝槽。因此，在開始或回到正常作業

之前，可使用化學沖洗或處理來增強該密封。

【0155】 當採用如先前所述的鹼性矽酸鹽鑽鑿流體時，該鑽鑿流體與原位地層流體反應以膠化且最終凝固成為堅硬高強度固體。這些反應在矽酸鹽鑽鑿流體與地層流體的混合介面處發生。在高滲透率溝槽或裂縫中，該鑽鑿流體可能會快速遷移通過地層使得地層流體遠離井筒以及把混合介面實質推入岩石，或地層鹽水可能很淡導致矽酸鹽膠化但是不完全沉澱。

【0156】 在這些情景中，在岩石內部深處實現部份或實質的密封，但是井筒附近區域含有「未用完」或未反應的液體鹼性矽酸鹽鑽鑿流體且沒有更多的地層鹽水與它反應。因此，化學沖洗的目的是用足夠的壓力泵送化學處理通過井筒系統以造成從井筒漏出進入井筒附近地層，接觸鑽鑿過程中剩下的未用完液體鹼性矽酸鹽，以及發動沉澱反應。合適化學物主要為本工業所習知的氯化鈣鹽水、酸、二氧化碳、表面活化劑、酯。

【0157】 在增強密封的另一具體實施例中，可用足夠的壓力泵送化學處理通過井筒系統以造成從井筒漏出進入井筒附近地層，在此該化學處理包含鹼性矽酸鹽的「充填劑」或體積，其次是包含氯化鈣鹽水、酸、二氧化碳，表面活化劑、酯或其他本工業所習知的反應化學物。可交替泵送這兩種化學物數次導致在井筒附近區域中實質混合。鹼性矽酸鹽及反應物的體積可用間隔物分離以防在井筒內混合或直接接觸。

【0158】 轉向在作業期間維持密封及井筒整體性，例如油氣及地熱工業所常用的鑽鑿過程需要維持井筒整體性及部份井筒密封(亦即，濾餅)，持續一段短暫時間直到水泥澆注套管於孔中或裝上襯裡。裸孔(在安裝套管或襯裡之前)井筒整體性及部份密封用鑽鑿流體的適當工程及應用建立。

【0159】 反之，揭露於本文的發明要求在地熱資產通常有50年或更多的使用壽命內保持裸孔密封及井筒整體性。

【0160】除了建立隨鑽密封以及視需要用獨立化學處理增強密封以外，作業工作流體本身在維持密封及維持井筒整體性方面扮演關鍵角色。該工作流體的主要功能是要從地下岩石輸送能量到地面，在此直接使用它或轉換成電力或冷卻。因此，該工作流體必須有用於能量傳遞的關鍵物理性質以及最大化系統的熱力學效率。例如，該流體可具有選自包含下列各項組成之群組的至少一者性質：

- a) 在位於入口井與出口井之間的分支互連區段內其壓力大於10MPa且溫度小於180°C以最大化流體與周圍井下熱源之溫差及熱傳遞的實質非線性溫度焓關係；
- b) 能夠經歷在升高壓力下吸熱以及在低於升高壓力之壓力下放熱的壓敏可逆反應；
- c) 包含在分支互連內吸熱之化學吸收反應的流體混合物；
- d) 有在分支互連內產生吸熱效應之溫度及壓力相依可溶性的水性電解質溶液；
- e) 包含湍流阻力減少組成物的水基流體；
- f) 超臨界流體，例如二氧化碳；
- g) 氨-乙烷混合物；以及
- h) a)至g)的功能組合

【0161】除了最大化熱力學效率以外，該工作流體也有鑽鑿流體的許多性質，亦即，可：

- i) 輸送在井筒中可收集的固體微粒到地面，在此通常用沉澱池、濾網或水力旋流器來移除它們；
- ii) 維持井筒的密封使得它對流體實質不滲透；以及
- iii) 維持井筒穩定性及整體性。

【0162】 在一具體實施例中，該密封的維持可藉由提供在工作流體內的固體微粒，其形成沿著井孔壁或橋體的濾餅且充填自然裂縫。這些微粒可為碳纖維、礦物纖維、纖維素纖維、矽石、粉煤灰、石墨、石墨烯、氧化石墨烯、碳酸鈣、膨潤土、或本工業所習知的其他微粒。如果是水基的，通常添加佔工作流體之0.5至2.0重量%的這些固體，而其他工作流體為等效的體積濃度。

【0163】 當採用如先前所述的鹼性矽酸鹽鑽鑿流體時，該鑽鑿流體與原位地層流體反應以膠化且最終凝固成為堅硬高強度固體。這些反應在矽酸鹽鑽鑿流體與地層流體的混合介面處發生。在高滲透率溝槽或裂縫中，該鑽鑿流體可能會快速遷移通過地層使得地層流體遠離井筒以及把混合介面實質推入岩石，或地層鹽水可能很淡導致矽酸鹽膠化但是不完全沉澱。在這些情景中，在岩石內部深處實現部份或實質的密封，但是井筒附近區域含有「未用完」或未反應的液體鹼性矽酸鹽鑽鑿流體且沒有更多的地層鹽水與它反應。因此，維持密封的另一方法是要包括反應物添加劑，它在從井筒漏出進入井筒附近地層後接觸在鑽鑿過程中剩下的未用完液體鹼性矽酸鹽且發動沉澱反應。

【0164】 根據定義，井筒在鑽鑿後仍有滲透率的任何區域會大量湧入鹼性矽酸鹽且井筒附近地層中含有未用完液體鹼性矽酸鹽。因此，工作流體內含有反應物會自然地密封剩餘的可滲透區段。合適化學物為氯化鈣鹽水、酸、二氧化碳、表面活化劑、酯、以及其他本工業所習知的。

【0165】 為了維持井筒穩定性及整體性，除了密封岩石以外，該工作流體必須在地層上施加足夠的壓力以提供足夠的壓縮強度以防止岩石崩落、崩塌、以及部份坍塌進入井筒。計算作業工作流體提供的壓力可使用整合熱力學井筒模型，其包括考慮到相變、隨著壓力及溫度改變的流體性質、和液壓磨擦損失的狀態方程式。若適當地加以設計，該工流體必須供應跨越整個井筒的最小壓縮強度，要麼藉由在入口井(加壓流體)頂部施加足夠高的壓力(加壓流體)，要麼藉由

修改工作流體的密度。除本工業所習知的其他技術以外，增加流體密度可通過添加例如重晶石的增重劑或通過可溶性鹽。

【0166】維持井筒穩定性的另一方法是要包括在工作流體內的頁岩抑制劑化學物。此化學物有阻止黏土及頁岩之水合、腫脹及崩解的功能，且為鑽鑿流體中的常見添加劑。合適添加劑為胺基化學品、乳膠、或鉀鹽的水性溶液、以及其他本工業所習知的。

【0167】上述添加劑及功能的組合導致工作流體不僅有效率地輸送能量到地面，也能加強和維持井筒密封、「自我修復」任何產生的滲透率、以及維持井筒穩定性及整體性，以維持對流體實質不滲透的閉環地熱井筒系統。

【0168】至關重要的是，密封劑添加劑不得干擾工作流體的熱力學性質。在一具體實施例中，該工作流體包含水、在1至10升/立方米之間的市售防蝕劑、在0.05至0.3莫耳/升之間的溴化鉀、在3至7毫莫耳之間的十六烷基三甲基銨表面活性劑、在8至16毫莫耳之間的柳酸鈉、以及在0.5重量%的碳酸鈣固體微粒。

【0169】上述溶液在適合直接使用於地熱熱供應的溫度範圍維持60%以上的湍流阻力減量，這對於高效熱動力學的作業至關重要。它在按照用熱軋分散頁岩的API RP 13i程序來測試時也有超過40%的回收，與未用完鹼性矽酸鹽反應以形成堅固的固體材料，且碳酸鈣顆粒橋接及充填自然裂縫和基質滲透率。

【0170】在另一具體實施例中，工作流體本身只是改性的鹼性矽酸鹽鹽水。

【0171】在另一具體實施例中，該工作流體為有特定數值的超臨界二氧化碳，因為在許多地熱情景中，超臨界二氧化碳有優於水的熱力學效率，且它也是優越的反應物以造成鹼性矽酸鹽液體凝固成為堅固的固體材料。

【0172】此時在以下實施例中描繪各種密封機制。

實施例1-化學密封

【0173】在滲透率堵塞設備中進行矽酸鹽系統之密封性能的初始測試。

【0174】 滲透率堵塞設備測試：

- 為了用鹽水使孔隙完全飽和以及建立與矽酸鹽鑽鑿流體反應的‘重症’原位流體，將20微米、3000 mD的圓盤(由OFITE提供)浸泡於30%氯化鈣溶液中過夜(約16小時)。
- 滲透率堵塞測試(PPT)，其運行根據OFITE使用手冊和API RP 13i-實驗室測試鑽鑿流體之建議措施-
- 250毫升的下述測試流體傳遞給PPT單元以及將預浸圓盤放入設備。在加壓設備且開始測試之前，允許鑽鑿流體接觸圓盤持續45分鐘。
- 在室溫及500 psi進行30分鐘的測試。
- 記錄在1、5、7.5、15及30分鐘後的滲流體積。

【0175】 圖2繪出在¼吋厚過濾圓盤上進行測試的一些典型資料。聚合體控制流體流動通過且滲流體積沒有實質減少。當添加不同類型的矽酸鹽時，過濾率在沉澱出現時大幅變慢。應注意，滲透率已經幾乎被消除，甚至在有3000 mD滲透率的¼吋厚圓盤中。

【0176】 流體製備：

- 藉由以中度剪切率使用Silverson Mixer由將黃原膠(Kelzan XCD™)混入淡水約30分鐘製備1000毫升的5千克/立方米聚合體流體。
- 控制流體為上述聚合體流體。
- 配方A，使PQ公司市售產品的30毫升之Ecodrill™ 317與270毫升上述聚合體流體結合以產生3%活性可溶矽酸鉀的300毫升部份。
- 配方B，使PQ公司市售產品的30毫升之Ecodrill™ K45與270毫升上述聚合體流體結合以產生3%(V/V)活性可溶矽酸鹽的300毫升部份。

【0177】 配方A的總PPT體積為273.8毫升，計算257毫升的初濾失，且計算3.1毫升/分的靜態過濾率。配方B的總PPT體積為103.8毫升，計算103.8毫升的初

濾失，且計算3.7毫升/分的靜態過濾率。數值使用在API 13i中所表示的公式計算。

【0178】也執行核心注入/恢復滲透率/核心損壞研究。這些類型的測試常用來研究鑽鑿流體或鑽鑿流體添加劑對於從感興趣目標生產區帶取得之核心之滲透率的影響。研究的目標常常是最小化損壞或最大化恢復滲透率。建立及測量初始滲透率係藉由用天然鹽水、油或某一鹽水/油混合物使核心飽和，以及以在儲集層壓力及溫度條件下的壓力使地層流體(s)流動通過核心。然後，注射測試流體跨越核心的表面持續一段時間，可測量滲流的體積、流體的入侵、和濾餅的厚度。然後，在流動的逆向注射地層流體以判定滲透率可能減少或甚至在暴露於測試流體後增加的程度。在此研究中，目的是要用矽酸鹽測試流體與合成鹽水飽和核心的膠化及沉澱反應來損壞核心。

【0179】核心注入/恢復滲透率/核心損壞研究的實行如下：

【0180】有滲透率約30 mD的Berea砂岩核心在真空下用合成鹽水飽和以及用3%矽酸鉀且含2%特種潤滑劑的溶液測試。測試程序、參數及結果列於下文。

【0181】程序：

- 1) 稱重充填劑以及在15 inHg真空下用鹽水預飽和1周。
- 2) 放入核心流動且測量對鹽水的滲透率。
- 3) 混合矽酸鉀泥漿且加熱到95°C。
- 4) 以3毫升/分的連續速率將泥漿注射於核心中。
- 5) 隨著時間推移監視壓力。
- 6) 差壓隨著時間呈指數增長直到觀察到約2500psi的流體突破。
- 7) 核心不完全封堵，不過，失去約99%的滲透率。
- 8) 收集流出液以判定流體位移(入侵深度)。

【0182】參數：

儀器：Chandler Formation Response Tester

核心充填劑：1.5吋x3.0吋砂岩

溫度：95°C

測試流體：有3%的矽酸鉀和2%的潤滑劑

孔隙體積：16.78

初始滲透率：對鹽水有28.32mD

泥漿處理後的滲透率：0.197mD

滲透率減量：大於99%

流率：3毫升/分

鹽水組成物：

氯化鈉-230.303克

氯化鈣-79.054克

氯化鉀-8.346克

氯化鎂-13.79克

【0183】 然後，執行頁岩分散測試以判定有潤滑劑之鹼性矽酸鹽溶液密封及提供頁岩樣本之機械整體性的能力。該方法按照用熱軋分散頁岩的API RP 13i 程序如下：

【0184】 • 壓碎約2千克的Pierre頁岩以產生約900克的-5/+10網目(2-4毫米)片體。與通常出現在適用於地熱之深度的成熟硬頁岩地層相比，Pierre頁岩與水有更高的反應性及敏感性。選擇它作為保守的底線，成熟頁岩的實際效能會更好。

- 使用ASTM篩網與Ro-Tap搖篩器篩分-5/+10網目片體2分鐘
- 將約10克的頁岩放入250毫升的測試流體
- 使樣本在120°C滾動24小時
- 然後，在滾動後將樣本倒入20網目的網篩

- 用抑制液(7%氯化鉀)老化的細胞以清除黏附於內壁的任何材料
- 在烤爐中以100°C使在20網目上回收的材料總量乾燥成有恆定的質量
- 然後，再篩分每個樣本且記錄-5/+10分數的質量

【0185】 數種不同流體配方的結果如下所示。

樣本	初始質量(克， - 5/+10網目)	總 回 收 質 量 (克)	回收質量(克， - 5/+10網目)	回收%
水	10.025	2.027	0.113	1.1
3%(v/v)矽酸鉀	10.041	9.895	9.799	97.6
3%(v/v)矽酸鉀 +2%潤滑劑	10.007	10.164	9.657	96.5
礦物油	10.011	9.251	8.501	84.9
7%氯化鉀	10.054	9.015	7.307	72.7
10升/立方米胺	10.002	6.961	5.759	57.6
工作流體組成物	10.175	7.102	4.514	44.4

【0186】 實現超過97%的回收，這表示頁岩有優異的密封及強化。礦物油與頁岩沒有反應性，而只是使它有約85%質量的回收。損失質量是由滾動期間的機械劣化引起。因此，97%的高度回收表明，不僅是化學密封形式，也實現機械硬度改善。添加頁岩抑制劑的工作流體也有44%回收，它從只有1%回收的淡水得到實質改善。

實施例2

【0187】 測試包含水、市售防蝕劑、溴化鉀、十六烷基三甲基銨表面活性劑、柳酸鈉和有0.5重量%之碳酸鈣固體微粒的工作流體。

【0188】 使用2吋200L容量之加熱流動測試壓降(亦即，阻力)的量測以及湍流的特徵化。環路備有各自有高低剪刀的離心泵(GIW，LCC-M 50-230)與螺桿泵(Moyno™，2F090)。最大醅數達500,000且環路可在15%固體體積濃度下作業。壓降用淡水校準且使用工作流體以相同的流率與磨擦壓降比較。在適合直接使用於熱應用的溫度範圍實現63%的湍流阻力減量。

【0189】 為了在井筒附近測試與市售Ecodrill™ 317之未用完鹼性矽酸鹽的

反應性，將二氧化矽：氧化鉀比為2.5的29.1%活性溶液混入工作流體的樣本。氫氧化鈉用來調整到有11-12的pH值，且在輕柔的攪拌下將鹼性矽酸鹽溶液注入工作流體的樣本以產生3%(v/v)及1%(v/v)的溶液。選擇這些低濃度以保守地代表井筒附近的未用完鹼性矽酸鹽鑽鑿流體。在每種情形下，工作流體加入造成沉澱的矽酸鹽溶液，且矽酸鹽在24小時後凝固。結果展示工作流體會強化及增強井筒密封使得它對流體實質不滲透。

【0190】 為了評定工作流體維持井筒整體性及穩定性的能力，執行改良的頁岩分散測試。該測試方法涉及用相同樣本的2個連續頁岩分散運行。首先，在密封劑中熱軋樣本，如上述，然後重新浸泡工作流體中以判定在密封後的頁岩機械強度及化學隔離。在用鑽鑿流體密封劑的初始頁岩分散運行後，乾燥、稱重樣本且將它浸入工作流體化學物並滾動24小時。

【0191】 然後，在滾動動將樣本倒入20網目網篩，且在烤爐中以100°C使在20網目上回收的材料總量乾燥成有恆定的質量。然後，再篩分每個樣本且記錄-5/+10分數的質量以及與密封及乾燥後的樣本質量比較。有趣的是，多個運行的結果顯示質量有超過96%回收，表明工作流體有維持井筒整體性的優異能力。

實施例3-機械方法

【0192】 在一具體實施例中，影響該機制可藉由添加固體顆粒至鑽鑿流體，它會自然遷移到孔隙空間/破縫中以減少滲透率。這通常被稱為井漏材料(LCM)。

【0193】 固體顆粒可為粒狀材料、纖維材料和片狀材料以及彼等之組合且尺寸為減少滲透率所需(通過鑽鑿流體分散)。合適尺寸可為奈米到毫米尺寸。

【0194】 Abrams定律及/或理想堆積理論概念對於建立最合適的材料很有用。Abrams定律提出架橋劑的粒徑應等於或稍微大於目標地層的1/3中等孔喉大小。

【0195】 理想堆積理論提出全方位的粒徑分布可有效地密封所有空洞，包

括由架橋劑建立者。

【0196】 顆粒的大小也可製作成在架橋前可鑽進孔隙空間。

【0197】 另外，鑽孔岩屑可增強LCM且用作堵塞材料。

【0198】 任何這些LCM產品在鑽鑿過程完成後可用來補救井筒漏洞。可以減少的速率泵送有LCM的進一步黏性掃描通過裸孔區段以允許LCM入侵且密封任何漏洞。

【0199】 最後，固體矽酸鹽(可能被囊裝)也可提供用於密封儲集層的有效化學/機械組合機制。

實施例4-生物方法

【0200】 微生物強化油回收(MEOR)為管理微生物之設計、成長及刺激以增加油回收的工程領域。最深地層含有在孔隙空間內的厭氧菌。相較於地面附近微生物，這些細菌有極低的能量及養分供給，從而有低族群密度。

【0201】 一MEOR技術是要用養分處理原生微生物以刺激其成長且最終用生物材料堵塞岩石孔隙。養分可為任何化學物，但是通常包括硝酸鉀與磷酸一鈉(monosodium phosphate)。由於細菌成長為指數級，如果提供足夠的原料和適當條件，可誘發細菌成長且完全封堵它們駐留於其中的孔隙空間，造成岩石對流體實質不滲透。

【0202】 另一技術是要引進新的微生物至岩石地層且同時供給它們養分。可將這些微生物工程設計成可只在某一溫度成長使得藉由注入熱地層可激活。

【0203】 這兩種技術可應用於傳統鑽鑿流體，造成岩石對流體實質不滲透，且形成閉環地熱系統。

實施例5-熱方法

【0204】 地層有不同的化學從而有不同的熔點，然而大部份的沉積層在1200°C或以下熔化。在研究、開發和測試階段有可使用熱崩解鑽進穿過岩石而不

是機械接觸的數種技術。

【0205】 一方法是要通過電流或者是核電來產生電漿。電漿熔化岩石且致能連續鑽鑿。

【0206】 另一方法是要射擊雷射於岩石的表面上，提高溫度直到岩石開始剝落、解且最終熔化。

【0207】 另一方法是要射擊高速彈丸，其釋放足夠的撞擊能量以提高溫度數百度。

【0208】 這些技術中之各者能夠隨鑽融化多孔滲透岩石，然後可加以冷卻及退火以形成對流體實質不滲透的堅硬耐用屏障。

【0209】 已討論了該技術的方法細節，此時參考如附圖所示的特定實作。

【0210】 圖1的圖形表示用於不同配方之滲流體積隨著時間平方根而改變的曲線。

【0211】 圖2的圖形表示描繪於實施例1之化學密封核心注入測試的差壓及滲透率資料隨著時間而改變的曲線。

【0212】 圖3的橫截面圖示有具有保護地下水之地面套管12之入口井10的井。中間套管14水泥拌澆到如圖示的位置。所有這些為本技藝所習知。從中間套管14伸出的是在此實施例中不包括套管反而是開放密封井筒的分支區段16。用如本文先前所述的密封劑密封圍繞分支區段16的孔隙空間。密封的孔隙空間用元件符號18表示。密封分支區段與中間套管14連續。然後，中間套管14與出口井20以連續方式連接。該出口井配有套管12。

【0213】 圖4圖示一替代情景。在此實施例中，分支區段16可間歇性地密封而產生未密封岩石表面22。在此情況下，套管24圖示為襯裡，意指沒有水泥澆注。襯裡22從而改善未密封岩石表面且維持從入口10到出口20的連續迴路。這可與連續密封區段結合使用。這將取決於特定地層地質。

【0214】關於在多孔或碎裂岩石中的密封區域，在上述化學實施例中，密封劑不與岩石表面融合，而是嵌在岩石內。一般而言，圖2及圖3描繪堅硬的岩石。

【0215】此時參考圖5，其圖示井設置在地層裡滲透性較低之區段內的實施例，例如沉積頁岩或泥岩區段。在此情景下，該地層可能有一般用元件符號26表示的罕見裂隙、裂縫、劈裂平面等。如圖示，有填滿裂隙、裂縫及劈裂平面之化學襯裡組成物28的化學襯裡28可用來完成入口10與出口20之間的連續。

【0216】翻到圖示井組態之第一實施例的圖6。在該實施例中，入口10與出口20各自包括與多分支井系統36之入口32及出口34連通的傳統套管區段30。該系統設置在地熱層38內。系統36包括複數個分支井16，取決於如圖3及4所示的情況，彼等可部份加套管。在地層38中可採用任何個數的井系統36。這是在垂直及水平面用元件符號6n表示，其中「n」表示其他井在系統36或任何其他合適組態之形狀中的任何個數。

【0217】入口32及出口34與套管區段30用此時參考後續圖形的多分支連接部集成。

【0218】圖7圖示一可能多分支配置。入口32與密封多分支井筒連接部40連接，且分支區段16從連接部40連續延伸。分支區段16彼此互相隔開以最大化來自地層38內的熱回收(圖6)。分支區段16可包括如在說明圖3至圖5時所述的套管。系統36的出口34會包括類似的連接部40(未圖示)。

【0219】翻到圖8，其圖示一般以元件符號42表示的L形井組態。在此實施例中，井有延伸區段44，其具有如先前實施例地密封的裸孔井筒的終端46。絕緣管48在井內延伸用以輸送流體。延伸區段44可以任何選定角度延伸。

【0220】圖9圖示一垂直取向實施例。

【0221】在圖10中，提供以元件符號50表示的W形井。地面元件符號52表示。在此實施例中，來自一井的輸出變成另一井的輸入。流動方向用箭頭圖示。

圖案可重複用於附加循環。在此實施例中，裸孔井筒16的密封如先前附圖所示且可包含套管區段與簡單密封井筒區段的交替圖案。這取決於地層的地質。

【0222】圖11圖示與圖3原來所示類似之多分支系統的另一變體，其係將入口及出口導管組合成為單一井筒，多分支區段在地層內可以任何角度設置。在此實施例中，分支區段16在終端54處匯聚。

【0223】圖12為單一場地配置56的側視圖，在此入口井10與出口井20通常很近。圖示分支區段16的流體迴路。如同前面的實施例，用在程序期間密封的周圍孔隙空間執行裸孔井筒的隨鑽密封。元件符號12n與在描述圖6中的6n有相同的意思。

【0224】另一變體圖示於圖13。其圖示多分支井配置的俯視圖。圖中複數個個別井16共享一個共用入口井10、在地層的地熱區帶內伸出(未圖示於圖)、以及在閉合迴路中回到一個共用出口井20。流動方向用箭頭圖示，且可隔離流到獨立環路中之各個個別環路或菊鍊的流動。這對於小佔地面積有利同時允許在地熱區帶內的最大熱力探礦。

【0225】圖14圖示另一變體，在此提供複數個井配置同時維持歸因於圖13具體實施例的小佔地面積。

【0226】圖15包含與原來圖示於圖13之井組態結合的多分支井系統50。在此組態中，兩個離散單一場地56可以最小的地面侵入力跨越大面積來開採大地下地熱區。流動方向用箭頭圖示，且可隔離流到獨立環路中之各個個別環路或菊鍊的流動。描述於本文之密封技術的有效性允許靈活地提供這種混合組態。接著，這允許在各種各樣的地質情況下熱力探礦，而允許在實施本文的方法時還有另一個自由度。

【0227】更專注於細節，圖16的橫截面圖示在此也稱為分支區段16的鑽鑿井筒。地熱層38在此實施例中為高滲透率地層。由於滲透率，密封劑在地層的孔

隙空間內散開且緊鄰井筒16仍未反應，這用元件符號60表示。從未反應密封劑區向外的是用密封劑密封的孔隙空間，如在先前實施例中，它用元件符號18表示。

【0228】圖17圖示使圖16之井筒暴露於工作流體的結果。在此處理後，圍繞井筒的地層區變密封而在井筒本身的內部體積與周圍地層之間形成不滲透介面。這是特別有利，因為密封井筒16被未反應密封劑60的儲藏量包圍。在井筒密封因地震活動或其他有害活動而受損的情況下，藉由可用反應物的儲藏量與工作流體的反應來自我修復，井筒可維持它的整體性及密封能力。在減少隨著時間推移的工作及維持成本方面，這顯然有非常重要的優勢，當然，大幅緩和與初始合成井系統相關聯的初始資本支出。

【0229】關於有低或平均滲透率的岩石，其實施例為花崗岩、泥岩、或頁岩，在單一步驟中可用密封劑填滿繞著井筒16之周邊的孔隙空間、裂縫、裂隙、劈裂平面等以形成不滲透介面而不需要反應性工作流體或進一步的處理，如圖18所示。因此，將會意識到，考量本文提及方法的範疇，地質滲透率不存在任何地熱熱力探礦問題。

【0230】作為輔助效益，該技術可擴展到補救和改裝領域。本文技術的基礎之一是對地熱領域中產生能量的一種環境友善解決方案，該解決方案避免使得無吸引力之流體處理成為必要的碎裂。與先前技術不當地將其特徵化為閉環的相反，第二個基礎在於該技術提供真正的閉環系統。

【0231】由於該技術允許有經枚舉之地熱回收效益的高效密封方案，已發現，該技術可應用於補救無效、未使用或不能操作的地熱井。這些井可能由於任一問題而無法使用或不能操作，例如低流率、無效裂縫、未固結地層、以及後繼產生沙土的問題、鹽水的過度腐蝕、或由於滲濾問題、及其他。因此，在不可能改裝為如本文所述的新型非裂碎地熱配置時，或在有可能用例如破裂法的昂貴且有環境爭議作業來補救或可能藉由重新鑽鑿整個井時，會藉由移除不必要的

套管及輔助組件來放棄不能操作場地。鑑於滲透程度不是問題的事實，該密封技術有誘人的補救效益。

【0232】 關於現有地熱井的轉換或改裝，井的預先存在允許該技術的部署具有明顯的經濟優勢，排除碎裂流體管理、誘發地震以及環境風險的需要，以及致使先前被廣泛視為環境不友善能源的改裝場地可進一步建構為綠能平台。

【0233】 在技術範疇的附加實作方面，此時將參考後續的附圖。

【0234】 在圖19中，井環路64包含有設置在地層內之入口井10及出口井20的閉環系統，該地層例如可為地熱層、低滲透率地層、沉積層、火山地層或「基岩」地層，描述它為出現於沉積盆地下方的結晶岩更恰當(全未圖示)。

【0235】 井環路64與電力循環66通過熱交換器68熱接觸，以從在地層中之環路64循環的工作流體回收熱，其隨後通過在循環66中的發電機70用來發電。作為一實施例，地層的溫度可在80°C至150°C的範圍內。

【0236】 在圖示配置中，使用兩種不同工作流體。下文中將討論關於該等流體的進一步細節。有可能在低溫下修改使用於系統之井環路作業內的工作流體。

【0237】 因此，當前市售發電模組通常限制電力循環工作流體的輸入溫度在初級熱交換器中高於0°C。藉由使工作流體溫度降到零網以下致能較高的渦輪壓力比。不過，傳統地熱專案受限於在熱交換器另一側之地熱流體的潛在凍結。

【0238】 藉由實作與閉環井結合的隔離電力循環系統來穿越現有技術的這些限制。

【0239】 該等流體可用添加劑修改以防在攝氏零下的溫度凍結。合適添加劑包括防垢劑、防腐劑、減磨劑，以及防凍化學物、冷凍劑、除生物劑、碳氫化合物、乙醇、有機流體及彼等之組合。

【0240】 量身訂做井環路工作流體與隔離電力循環結合的實質效益在於它

不被極冷周遭溫度影響從而有助於使用任何一般電力循環(包括ORC、Kalina、碳載體循環、CTPC)以用來在與如圖19所示之井環路結合使用時增加較高的淨發電量。在此配置中，當第二工作流體的溫度在攝氏零度或零下時，熱從第一工作流體傳遞到第二工作流體。

【0241】 圖20及圖21圖示有隔離迴路的視需要配置。

【0242】 圖20圖示一隔離迴路，其包含與兩個不同熱交換器68熱接觸的井環路64，這兩個不同熱交換器68各有自己的發電機70而形成並聯配置。類似地，圖21圖示串聯配置。

【0243】 該集成井環路電力循環為一閉環系統，其中選定的工作流體在井環路內循環然後流入地面上的渦輪，如圖22所示。元件符號72表示整體流程示意圖。在此流程中，使用單一流體而不是有一離散井環路流體與一次級電力循環工作流體。在此閉環循環中的工作流體可作為跨臨界循環作業，藉此該流體在上工作壓力是超臨界以及在下工作壓力是次臨界的，或者是作為完全超臨界循環作業，藉此該流體在下工作壓力作為超臨界。圖23圖示一替代具體實施例。

【0244】 眾所周知，跨臨界循環為工作流體在其中經歷次臨界及超臨界狀態兩者的熱力學循環。該設備進一步包括在該實施例中其圖示為空氣冷卻機74的冷卻裝置與有發電機78的渦輪76。空氣冷卻機74用來冷卻工作流體至高於周遭溫度有1°C至15°C的溫度。也應注意，該工作流體可冷卻到攝氏零下的溫度。圖24描繪效能資料。

【0245】 在此集成循環中的驅動機制為極強的熱虹吸管，它是由於入口垂直井10與出口垂直井20的密度差而產生。該流體在入口井10中處於超臨界液態，它在沿著分支互連區段80行進以及在出口井20中以超臨界狀態流出時熱起來，這產生很大的壓力。

【0246】 熱虹吸管效應可完全排除地面泵浦在正常工作條件下的需要，除

了啟動期間以外。有利的是，這排除使泵浦運作所需的電力且增加淨電力輸出。

【0247】 與井環路迴路協同工作使用針對井筒佈局、深度、長度及周遭溫度來訂做的客製化流體及混合物。先前技術只討論使用二氧化碳或純碳氫化合物流體。用如本文所述的閉環系統，流體混合物的初始成本及複雜度只是整體經濟的次要因素。因此，可使用其他流體，例如在位於入口井與出口井之間的互連分段內在大於10 MPa的壓力及小於180°C的溫度有非線性溫度焓關係的流體以最大化該流體與周圍井下熱源之間的溫差及熱傳遞，亦即，周圍岩石。

【0248】 已發現，在井環路之分支部份內有實質非線性溫度-焓關係及/或有在升高壓力下吸熱以及在低於升高壓力之壓力下放熱之壓敏可逆反應的流體可大幅增加發電量。這是因為遠場岩石溫度與循環流體溫度之間的平均溫差增加，驅使來自地質層的熱傳遞增加。

【0249】 供使用於隔離組態的此類流體之一實施例為有溫度相依可溶性的水性沉澱物/電解質溶液，其中，水在入口井頂部超飽和。固體顆粒用防垢劑(防凝聚劑)以及用湍流(類似鑽鑿泥漿)保持懸浮。溫度在該等分支區段中遞增，因而保持懸浮之固體的可溶性也遞增。這允許溶液在固體顆粒溶入水時以吸熱方式吸收來自岩石的熱(基本上增加流體的有效熱容)。在隔離熱至電力循環的熱交換器中，溫度遞減，因此該固體物質以放熱方式沉澱。

【0250】 有用的流體包括有下列作為實施例之溶質的水性溶液：醋酸銨、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、醋酸鈉、碳酸鈉及磷酸一鈉。

【0251】 使用單一渦輪且在整個周遭條件範圍內有足夠的效率是有問題的。已發現，使用針對不同周遭條件加以最佳化的兩個或多個串聯或並聯渦輪可解決該問題。在溫度較低的時期，控制邏輯(未圖示)自動將工作流體轉移到適當的渦輪以全年保持高效率。

【0252】此時參考圖25及圖25A，其示意圖示由數個井組成整體用元件符號82表示的一菊鍊。在此具體實施例中，整體用元件符號84表示的各個地面位置包括連接至分支井導管或互連分段88的注入井86和生產井90。以此方式，該連續井結構支持一般的U形結構。該分支井分段可包含如圖3所示或有任一先述其他組態的井系統36。

【0253】如圖示，各位置84以極佳有利的方式與近端位置分離及鏈結。作為一實施例，該等位置之間的距離可為3,500米到6000米。當然，這隨著各種情況而有所不同。

【0254】在作業中，工作流體在一位置84的注入井86中循環，視需要，例如通過發電設備(未圖示)加工以回收熱能且隨後作為輸出流傳遞成為用於近端位置84之注入井86的入口進料流。鏈線92圖示此中繼或菊鍊排序。由於並非所有熱量都被回收，預熱近端位置之井86的入口進料流以便注入分支導管88。然後，重置該過程以在下一個位置84重覆。

【0255】此時翻到圖26，其圖示本發明的另一具體實施例，例如，8,000kW至12,000kW的系統。在此實施例中，為了集中發電設備(未圖示)以增加功率和效率，個別環路可在中央位置94連結。

【0256】圖27及圖28圖示規模較小的作業，4,000kW至6,000kW(圖27)與2,000kW至3,000kW(圖28)。

【0257】此時轉到本發明的相變方面，將參考比先前技術更加有效地冷卻鑽柱、底孔總成及岩石表面(都沒有圖示)的鑽鑿流體組成物。該冷卻鑽鑿流體使用相變材料(PCM)減輕出現於標準鑽鑿流體的逆流熱交換問題。眾所周知，PCM經歷溫度幾乎不變的融合(熔化及凝固)，因此，它們吸收並釋放熱能而不會實質性地改變溫度。在順序上統一隨鑽密封與用PCM鑽鑿且隨後密封的這些性質對於高溫地層中利用傳統鑽鑿設備的有效鑽鑿產生巨大的積極影響，否則用標準

設備無法實現。

【0258】 參考圖29，該等PCM被添加到鑽鑿流體，且以充分的流率泵送該流體使得PCM在整個系統中經歷相變(或至少緊鄰底孔總成(未圖示))。

【0259】 在也被稱為配管之鑽柱96的頂部(系統的入口)，泵送處於固態(或幾乎固態)的PCM。隨著流體98在柱96的配管100中下降，熱從在環孔104中的返回流體102傳遞過來，不過，熱傳遞率由於環孔104與配管100之間的緊密溫度匹配(低 ΔT)而很小。配管100中的流體98在下降時吸收熱能且熔化而不實質改變溫度且以完全固態或者是以含液率比在配管100頂部更高的方式離開鑽頭106。當流體102在環孔104中返回時，它繼續吸收來自岩石108的熱直到井筒附近岩石溫度低於流體溫度。該系統的熱力學設計成可使得鑽柱96中的流動PCM泥漿在底孔總成(未圖示)處或附近至少部份保持固態。此作業可與鑽鑿同時密封作業排序成任何順序，如本文先前所述。

【0260】 水有遞減的報酬。儘管有效到一定程度，增加水的流率對底孔溫度的進一步影響很小。這是由於使降下水變熱的逆流熱傳遞，甚至在到達鑽頭之前(圖29)。圖30圖解說明在鑽入4500米深之340°C岩石時的情形。在PCS以4立方米/分鐘流動時，在位於套管26 112與鑽柱10 96之間的環孔24 110中，相變泥漿(PCS)套管為返回流體的泥漿溫度。在水以4立方米/分鐘流動的情形下，在BHA(未圖示)處的溫度約為222°C。增加水流率至5立方米/分鐘只使BHA冷卻降到209°C。4立方米/分鐘的PCS流體致能降到160°C的冷卻，這遠低於用水即可達到的水平。

【0261】 如本技藝所習知的，鑽鑿鑽進率ROP為岩石強度的函數。已發現，藉由誘發快速冷卻衝擊，在用鑽頭物理破壞之前，可弱化岩石，或「預調節」岩石。藉由維持遠低於原位岩石溫度的循環流體溫度，冷鑽鑿流體在位於鑽頭表面(未圖示)附近的岩石中誘發局部熱收縮。此收縮造成岩石變弱且甚至可能造成拉

伸破壞。

【0262】在學術文獻中，Yan-Jun Shen 等人在2019年Energies期刊的「Experimental Study on Temperature Change and Crack Expansion of High Temperature Granite under Different Cooling Shock Treatments」中提及弱化效應與冷卻的量級有關。為了對ROP產生實質性影響，需要大於50°C的冷卻。90°C為較佳的冷卻溫度，其致能由於岩石之脆化而不是極端岩石損壞的增進ROP。實質的弱化和拉伸破壞可在150°C的冷卻下發生，在標準鑽鑿配置中這僅靠水是無法實現的。美國專利第9,758,711號揭露一種冷卻鑽頭及底孔總成的PCS鑽鑿流體。該揭露內容注意到，它只能獲得與水略微好點的冷卻效應(約5°C)。

【0263】若應用描述於本文的方法，岩石可以冷卻100°C以上。參考顯示有190°C之冷卻的圖30。圖31圖示為衝擊冷卻delta-T之函數的岩石機械強度，亦即，PCM鑽鑿流體與原始岩石溫度的溫差。

【0264】本發明的特別有用應用是用於構造僅傳導的閉環地熱系統，如本案申請人共審查中之申請案所揭露的。這些系統通常需要磁測距工具以致能不同井筒的相交以建立封閉系統。在作業的測距階段期間，保持磁測距接收器(未圖示)低於其溫度極限至關重要。接收器可放在鑽柱(配管)的末端上且經組配為允許流體流動通過該工具且從配管的末端流出。以此方式，使用描述於本文的設計及作業方法，藉由以高速率泵送PCS通過工具且在環孔中向上退回，可主動冷卻該磁測距設備。

【0265】該等PCM經設計及選定成有低於在鑽柱及BHA內之設備、電子產品及感測器之最大溫度極限的融合溫度。因此，即使岩石溫度可能顯著高於設備的最大溫度極限，然而鑽鑿流體溫度保持在PCM融合溫度。溫度高於200°C至400°C及更大的岩石可用標準定向鑽鑿設備、電子產品等等鑽鑿。此外，有些井當前用達250°C的昂貴高溫工具鑽鑿。反之，揭露於本文的技術致能更便宜、更

可靠有效的設備，這可大幅節省成本。

【0266】如上述，美國專利第9,758,711號揭露一種冷卻鑽頭及底孔總成的PCS鑽鑿流體。不過，該揭露內容無法致能足夠的冷卻以弱化岩石以使ROP更快，或解決實現大量冷卻效應所需的作業挑戰。

【0267】重要的是，維持PCM在鑽柱內的分散，以防止結塊和流動路徑的潛在堵塞。吾等已示範有固相PCM顆粒的穩定乳化液。不過，在數個熔化/凝固周期後，PCM顆粒容易結塊並變得更大。重要的是，讓凝固過程在流體呈湍流且在高剪切率下發生，這將使結塊限制在某一最大粒徑。

【0268】已發現，需要關鍵流率以實現可弱化岩石的顯著冷卻效應、增加ROP、以及致能地熱閉環系統在高溫岩石中的磁測距。該關鍵流率定義為PCM在整個鑽柱中保持至少部份固態(因此，經歷融合)且以部份固態的形式離開鑽頭(或底孔總成)。不需要讓PCM在環孔中處於固態形式，只需在配管中處於固態形式即可。

【0269】此時參考圖32，其圖示用於以下情景的不同流率：以150°C之融合溫度在4500米深度鑽鑿340°C岩石(線性75°C/km地熱梯度)。對於2.5、2.9、3.0立方米/分鐘的各個流率，在底孔總成的溫度分別為180、150、150°C。因此，在此情景下，關鍵流率為2.9立方米/分鐘，因為任何較低的流率都會導致在BHA處有較高的溫度，同時任何較高的流率都會導致沒有額外的冷卻。

【0270】對於與地熱專案有關的深度及溫度，通常關鍵流率是在2立方米/分鐘、6立方米/分鐘之間。

【0271】為了實現所欲冷卻效應，重要的是，最小化配管與環孔之間的熱傳遞。如果BHA壓力控制不當，則在環孔中之熔化PCM的融合溫度會高於在配管中的融合溫度，造成從環孔到配管有明顯的非所欲熱傳遞。融合溫度為壓力的函數。必須控制配管與環孔之間有足夠高的壓力差 ΔP 以造成在配管中的最小

融合溫度高於在環孔中的最大融合溫度，如圖33所示。

【0272】 圖34的圖形表示正確地設計跨越BHA之 ΔP 的重要性。其描繪各有相同流率、鑽鑿流體組成物、井尺寸及岩石溫度的兩個案例。案例1沒有跨越設備及柱底之組件(底孔總成)的壓降或 ΔP 。案例2有10 MPa的壓降。在鑽頭的流體溫度分別為230°C與160°C。

【0273】 輸送到地面的岩屑需要移除以維持鑽鑿流體的必要固體含量/密度。在許多地熱應用中，尤其是在揭露於本案申請人共審查中之申請案的應用中，清澈流體是理想，意指有不重要固體含量的流體。儘管經由網篩/搖動器來移除較大的岩屑，然而較小的固體用分離較高密度之材料的離心機移除。因此，應選擇密度與基礎載體流體相似的PCM，且最好略低於載體流體，以致能離心機移除岩屑但是使PCM顆粒留在流體內。

【0274】 添加固體PCM至例如水的基礎載體流體可顯著增加有效體積黏度。隨著黏度增加，通過井筒的液壓磨擦壓降也隨之增加。高壓力損失通常會決定龐大的地面泵送電力及高壓設備。不過，可選擇密度在液態及固態時有明顯差異的PCM。藉由組合具有最佳化流體組成物的此一PCM性質與流率，該系統經設計/作業成該PCM在鑽柱中比在環孔中有明顯更高的%固相，從而在鑽柱與環孔之間建立大密度差，而致能明顯的虹吸作用。該虹吸作用給系統增加大壓力驅動從而部份克服PCM黏度增加的影響。

【0275】 該密度差不是熱虹吸管，因為配管/環孔中的溫度實質相同。相反，虹吸管是由PCM在環孔和配管之間的相對相態造成。

【0276】 採用菊鍊實作的重要特徵之一是不需要地面附近回流管。若需要，如同傳統井環路配置，資金成本超過總專案資金的10%，可能需要協商通行權以及約3°C熱損失與壓力損失導致效率降低。

【0277】 相比之下，由於井環路是前後鏈接的，菊式鍊接排除地面附近回

流管的需要。進一步，成對的環路當作對方的回流管以及該對使用廢熱作為輸入以產生上述預熱流。

【0278】 其他優點包括：在沒有地面破壞(佔地面積)下增加發電量，因為一切都在地下，以及減少位置84之間的距離。如果由於預熱進料流設計的溫度升高而可使用較短的導管88，這相應地減少成本。

【0279】 實施例中的井都藉由採用所描述的隨鑽密封方法來形成。應瞭解，任何井組態組合可併入菊輪型配置。進一步，破壞技術的任何組合可用來在菊輪實施例中形成井筒以及圖示於所有附圖之中的任一其他組態。在有些圖形中，包括「n」標記的引用以及附圖編號。例如，圖6有標示為6n的區域。這是要表示，任何個數因此為n的附加井可垂直地堆疊或以平行排列的方式安置或兩種都有。該等附加井中的井可為相同或不同的類型。

【0280】 如實施例所枚舉的，描述於本文的技術基於不管滲透率如何都可把地熱層形成為具能量效率之井筒以實現最大傳導率的能力。此性能在與高效工作流體耦合時產生卓越的方法論。

【0281】 井內的流體循環可能出現有助於效率的任何圖案及方向。這將部份由地層的性質決定且由熟諳此藝者確定及鑑別。

【符號說明】

【0282】

10:入口井/鑽柱

12:地面套管

14:中間套管

16:分支區段

18:密封孔隙空間

20:出口井

24:環孔
26:套管
28:化學襯裡
30:傳統套管區段
32:入口
34:出口
36:多分支井系統
38:地熱層
40:密封多分支井筒連接部
42:L形井組態
44:延伸區段
46:終端
48:絕緣管
50:W形井
52:地面
54:終端
56:單一場地配置
60:未反應的密封劑
64:井環路(循環)
66:密封
66:電力循環
68:熱交換(器)
70:發電(機)
72:整體流程示意圖

74:空氣冷卻機

76:渦輪

78:發電機

80:分支互連區段

82:由數個井組成的菊鍊

84:地面位置

86:注入井

88:分支井導管或互連分段

90:生產井

92:鏈線

94:中央位置

96:鑽柱

98:流體

100:配管

102:返回流體

104:環孔

106:鑽頭

108:岩石

110:環孔

112:套管

【發明申請專利範圍】

【請求項1】 一種方法，其用於在鑽鑿作業中維持鑽鑿流體與正在鑽鑿之岩石表面的溫差，其包含選擇下列中之至少一者：

一化學作業，其用於控制來自引進到該岩石表面之鑽鑿流體與從該鑽鑿作業返回之流體的熱傳遞；以及

一機械作業，其用於控制來自引進到該岩石表面之鑽鑿流體與從該鑽鑿作業返回之流體的熱傳遞，該差量為90°C或更大。

【請求項2】 如請求項1之方法，其中，該方法利用這兩個作業。

【請求項3】 如請求項1或2之方法，其中，以一預定順序執行該等作業。

【請求項4】 如請求項1至3中之任一項的方法，其中，同時執行該等作業。

【請求項5】 如請求項1至4中之任一項的方法，其中，在溫度至少有400°C的一高溫地質層中執行該鑽鑿方法。

【請求項6】 如請求項1至5中之任一項的方法，其中，該化學作業包括：提供含有一相變材料的一鑽鑿流體用於控制該引進流體與該返回流體之間的逆流熱傳遞。

【請求項7】 如請求項6之方法，其進一步包括：控制配管與該鑽鑿設備之環孔的一壓力差，其中，在該環孔中之該相變材料的最大融合溫度低於或等於在該配管中之該相變材料的最小融合溫度。

【請求項8】 如請求項7之方法，其進一步包括以下步驟：維持該相變材料的流率以在該配管之底部附近保持至少部份固態，藉此使該鑽鑿流體的溫度低於正在鑽鑿之一地層表面的溫度。

【請求項9】 如請求項1至8中之任一項的方法，其進一步包括以下步驟：包括在該鑽鑿流體內以吸熱方式反應的試劑。

【請求項10】 如請求項9之方法，其中，該反應係經壓力活化。

【請求項11】如請求項1至10中之任一項的方法，其中，該化學作業進一步包括：安置一絕緣鋪層，其緊鄰與引進到該岩石表面之鑽鑿流體和返回流體相關聯的該等熱傳導面。

【請求項12】如請求項11之方法，其進一步包括在該鋪層之組成中利用下列中之至少一者的步驟：液體、氣體、固體、發泡體、凝膠、相變材料、油、複合材料及彼等之組合。

【請求項13】如請求項1至12中之任一項的方法，其中，該機械作業包括：用一絕緣材料處理該鑽鑿設備以減少進入該引進流體的熱傳遞。

【請求項14】如請求項1至13中之任一項的方法，其中，該機械作業包括：利用該鑽鑿設備中有低導熱係數的數個組件以減少進入該引進流體的熱傳遞。

【請求項15】如請求項1至14中之任一項的方法，其進一步包括：通過維持該差量使該鑽鑿設備進入該地層的該鑽進率相對於不維持該差量的該鑽進率增加。

【請求項16】一種用於鑽鑿地質層的鑽鑿方法，其包含：

排序i)隨鑽密封一地層的孔隙空間；與

ii)用一冷卻作業鑽鑿且隨後密封該孔隙空間；以及

用冷卻劑冷卻該地層中正在鑽鑿之一岩石表面，以使在該地層之鑽鑿期間的該鑽進率相對於不使用該冷卻劑的該鑽進率增加。

【請求項17】如請求項16之方法，其進一步包括以下步驟：控制來自引進到該岩石表面之鑽鑿流體與返回流體的熱傳遞；以及

控制鑽鑿設備與引進流體之間的熱傳遞以提供在該岩石表面與該引進鑽鑿流體之間有90°C或更大的溫差。

【請求項18】如請求項16或17之方法，其進一步包括：交替進行以下兩個步驟：用該冷卻劑鑽鑿與使一密封劑循環以密封該地層之該孔隙空間。

【請求項19】如請求項16至18中之任一項的方法，其中，該冷卻劑包含一相變材料、含有一相變材料的流體、導熱油、含有經歷膨脹及一焦耳-湯姆森效應之氣體的流體、液態氮、冷凍劑及彼等之組合。

【請求項20】如請求項16至19中之任一項的方法，其進一步包括下列步驟：密封預先存在於該地層中或源自鑽鑿的裂隙、裂紋及空洞。

【請求項21】如請求項16至20中之任一項的方法，其中，隨鑽密封孔隙空間之作業的該排序利用在一鑽鑿流體中的一鹼性矽酸鹽組成物。

【請求項22】如請求項16至21中之任一項的方法，其中，排序以一交替順序執行。

【請求項23】如請求項16至22中之任一項的方法，其中，該孔隙空間的密封在該被鑽地層與一被鑽井孔的周邊之間形成一介面。

【請求項24】如請求項23之方法，其進一步包括以下步驟：使一化學組成物在該井孔內循環，該化學組成物能夠與該介面誘發沉澱形成以增強該介面的密封能力及機械整體性。

【請求項25】如請求項7之方法，其進一步包括以下步驟：使在該密封井孔內的一工作流體循環，該密封井孔包含一介面維持添加劑用以於該工作流體在該井孔內循環期間維持不滲透性。

【請求項26】如請求項16至25中之任一項的方法，其中，鑽入該地層的步驟包含：鑽鑿一入口井及一出口井以與一輔助裝置形成一閉環，該閉環的至少一部份設置在該地層的一熱產生區內。

【請求項27】如請求項26之方法，其中，該閉環包含：有一封閉終端的一L形井；管中管井配置；成群閉環U形井，彼等與該群組中連接至另一群組成員之一輸入井的一輸出井成員隔開；有共同地連接至一各自入口井及出口井之複數個分支井的一閉環U形井；有共同地連接至一各自入口井及出口井之複數個分支

井的複數個閉環U形井，其中該等複數個分支井的配置是為了熱接觸而以該等分支至少部份交錯的方式配置；以及彼等之組合。

【請求項28】如請求項27之方法，其中，該熱產生區為一地熱區帶。

【請求項29】如請求項26之方法，其中，該輔助裝置包含下列中之至少一者：一儲熱裝置、一電力轉換裝置及彼等之組合。

【請求項30】如請求項1之方法，其中，在有至少400°C之溫度的一高溫地層中執行該鑽鑿方法。

【請求項31】如請求項1之方法，其中，在選自由下列各者組成之群組的一地層中執行該鑽鑿方法：一高滲透率地層、低滲透率地層、與可變滲透率地層。

【請求項32】一種將井筒鑽入用於熱回收之地層的方法，其包含：

在一鑽鑿作業期間，在該井筒與該地層之間形成對流體實質不滲透的一導熱介面，該介面的形成係藉由使用下列中之至少一者來誘發該井筒的不可逆滲透率損壞：在一成形介面與該井筒之間沒有輔助材料下的一熱機制、機械機制、化學機制、與生物機制，該鑽鑿作業選自i)密封時同時鑽鑿、ii)鑽鑿且隨後密封、以及iii)彼等之組合。

【請求項33】如請求項32之方法，其中，該鑽鑿且隨後密封包含：用在鑽鑿期間冷卻正在鑽鑿之該岩石表面以及在該鑽鑿作業中可作業之數個鑽鑿組件的動態冷卻鑽鑿，接著是，用引進到該鑽鑿井筒之一未密封區段中的一附加密封劑材料密封。

【請求項34】如請求項33之方法，其中，該動態冷卻包括：使含有一相變材料的鑽鑿流體循環。

【請求項35】如請求項33或34之方法，其進一步包括下列步驟：控制在動態冷卻期間來自引進到該岩石表面之鑽鑿流體與返回流體的熱傳遞。

【請求項36】如請求項35之方法，其中，控制熱傳遞的該步驟包括：使該相

變材料循環用以控制該引進流體與該返回流體之間的逆流熱傳遞。

【請求項37】如請求項36之方法，其進一步包括：控制配管與該鑽鑿設備之環孔的一壓力差，其中，在該環孔中之該相變材料的最大融合溫度低於或等於在該配管中之該相變材料的最小融合溫度。

【請求項38】如請求項37之方法，其進一步包括以下步驟：維持該相變材料的流率以在該配管之底部附近保持至少部份固態，藉此使該鑽鑿流體的溫度低於正在鑽鑿之一地層表面的溫度。

【請求項39】如請求項38之方法，其進一步包括以下步驟：包括在該鑽鑿流體內以吸熱方式反應的試劑。

【請求項40】如請求項39之方法，其中，該反應係經壓力活化。

【請求項41】如請求項33至40中之任一項的方法，其進一步包括：安置一絕緣鋪層，其緊鄰與引進到該岩石表面之鑽鑿流體和返回流體相關聯的熱傳導面。

【請求項42】如請求項41之方法，其進一步包括在該鋪層之組成中利用下列中之至少一者的步驟：液體、氣體、固體、發泡體、凝膠、相變材料、油、複合材料及彼等之組合。

【請求項43】如請求項33至42中之任一項的方法，其進一步包括：用一絕緣材料處理用於在該地層中鑽鑿的鑽鑿設備以減少進入引進鑽鑿流體的熱傳遞。

【請求項44】如請求項43之方法，其中，該處理步驟包括：用低傳導率材料處理在該鑽鑿設備之一鑽柱上的數個預定點。

【請求項45】如請求項33至44中之任一項的方法，其中，該方法包括：利用該鑽鑿設備中有低導熱係數的數個組件以減少進入該引進流體的熱傳遞。

【請求項46】如請求項33至45中之任一項的方法，其進一步包括：通過維持該地層之該岩石表面與引進鑽鑿流體之間有90°C或更大的溫差，使該鑽鑿設備進入該地層的該鑽進率相對於不維持該差量的該鑽進率增加。

【請求項47】如請求項32至46中之任一項的方法，其進一步包括下列步驟：
以一預定順序執行該密封時同時鑽鑿與該鑽鑿且隨後密封。

【請求項48】如請求項32至47中之任一項的方法，其中，該井筒為一閉環連續迴路，以及該介面至少在該環路的一入口井與一出口井之間延伸。

【請求項49】如請求項32至48中之任一項的方法，其中，該化學機制包含利用一基於鹼性矽酸鹽之鑽鑿流體。

【請求項50】如請求項49之方法，其中，該基於鹼性矽酸鹽之鑽鑿流體包括矽酸鋁鉀、矽酸鋁鈉及矽酸鋁鈉中之至少一者。

【請求項51】如請求項32至50中之任一項的方法，其進一步包括下列步驟：
在一另一化學單元作業中增強一成形介面的密封能力及機械整體性。

【請求項52】如請求項51之方法，其中，該另一化學單元作業包括：用下列中之至少一者處理該介面：氯化鈣鹽水、包含多價陽離子之鹽水、酸、二氧化碳、表面活化劑及酯。

【請求項53】如請求項51或52之方法，其中，該化學單元作業包含：用能夠化學鍵結至該成形介面的一化合物處理該成形介面。

【請求項54】如請求項32至53中之任一項的方法，其進一步包括：使一工作流體在該井筒內循環，該井筒包含在使用時用以維持不滲透性的一介面維持添加劑。

【請求項55】一種利用有配管之一鑽柱與一周圍環孔的鑽鑿方法，其包含：
提供含有一相變材料的一鑽鑿流體；

排序：隨鑽密封一地層的孔隙空間，與用該相變材料鑽鑿且隨後密封該孔隙空間；

控制該配管與該環孔之間的一壓力差，其中，在該環孔中之該相變材料的最大融合溫度低於或等於在該配管中之該相變材料的最小融合溫度；

維持該相變材料的流率以在該配管之底部附近保持至少部份固態，藉此使該鑽鑿流體的溫度低於正在鑽鑿之一地層表面的溫度；以及

用該相變材料冷卻該地層中正在鑽鑿之一岩石表面，以使在該地層之鑽鑿期間的該鑽進率相對於沒有該相變材料的該鑽進率增加。

【請求項56】如請求項55之方法，其中，在該鑽鑿流體的循環期間，通過該相變材料的活性相變來維持該鑽鑿流體溫度。

【請求項57】如請求項56之方法，其進一步包括以下步驟：基於地層溫度來選擇該流率。

【請求項58】一種用於補救井的方法，該井包括下列中之至少一者：由鑽鑿或碎裂技術造成的數個碎裂區段、在一泥土地層內的未固結岩石及沙子，該方法包含：

排序i)隨鑽密封下列中之至少一者的孔隙空間：由鑽鑿或碎裂技術造成的該等碎裂區段、該地層中未固結的岩石及沙子，與ii)用一相變材料鑽鑿且隨後密封該孔隙空間；以及

用該相變材料冷卻該地層中正在鑽鑿之一岩石表面，以使在該地層之鑽鑿期間的該鑽進率相對於沒有該相變材料之該鑽進率增加。

【請求項59】如請求項58之方法，其進一步包括下列步驟：處理該井和該等碎裂區段、未固結岩石及沙子中之至少一者的孔隙空間係藉由添加能夠在該等區段形成一沉澱不透水介面的一初步化學組成物；以及

用一第二化學組成物處理該介面用以使任何未反應的初步化學組成物沉澱以進一步密封該介面。

【請求項60】如請求項59之方法，其中，該初步化學組成物為一鹼性矽酸鹽流體。

【請求項61】如請求項60之方法，其中，該鹼性矽酸鹽流體包括矽酸鋁鉀、

矽酸鋁鈉及矽酸鋁鈉中之至少一者。

【請求項62】一種方法，其用於轉換有下列中之至少一者的地熱井為密封閉環地熱井：由鑽鑿或碎裂技術造成的數個碎裂區段、未固結岩石及沙子、流體連通的一入口井與一出口井，該方法包含：

排序i)隨鑽密封下列中之至少一者的孔隙空間：由鑽鑿或碎裂技術造成的該等碎裂區段、該地層中未固結的岩石及沙子，與ii)用一相變材料鑽鑿且隨後密封該孔隙空間；以及

用該相變材料冷卻該地層中正在鑽鑿之一岩石表面，以使在該地層之鑽鑿期間的該鑽進率相對於沒有該相變材料之該鑽進率增加；以及

使能夠形成一沉澱不透水且導熱介面於該入口井與該出口井之間以及於下列中之至少一者中的一初步化學組成物循環：由鑽鑿或碎裂技術造成的該等碎裂區段、未固結岩石及沙子，藉此用該入口井、該出口井、以及位於其間的區域形成一封閉的密封井環路。

【請求項63】如請求項62之方法，其進一步包括以下步驟：用一第二化學組成物處理該介面用以使任何未反應的初步化學組成物沉澱以進一步密封該介面。

【請求項64】如請求項63之方法，其進一步包括以下步驟：使一工作流體在該閉環內循環，該工作流體能夠與該介面反應以在其循環期間維持不滲透性。

【請求項65】如請求項64之方法，其進一步包括以下步驟：使工作流體在該閉環內連續循環。

【請求項66】如請求項64之方法，其中，該工作流體在該環路內以一可變方式循環。

【請求項67】如請求項66之方法，其中，該可變方式包括數個靜止期。

【請求項68】一種用於鑽入地層的鑽鑿方法，其包含：

動態冷卻正在鑽鑿之一岩石表面且密封該地層中之一所得井筒之孔隙空間的步驟利用在一單一作業中能夠冷卻及密封的一組成物，其中，該冷卻和密封同時發生。

【請求項69】如請求項68之方法，其中，該組成物包括至少一相變材料。

【請求項70】如請求項68之方法，其中，該組成物包括至少一鹼性矽酸鹽密封劑材料。

【請求項71】如請求項68之方法，其進一步包括包含在該組成物之中的一乳化液穩定劑化合物。

【請求項72】如請求項68之方法，其進一步包括下列步驟：排序i)用冷卻動態冷卻及密封，接著是，ii)以一預定順序密封。

【請求項73】如請求項68之方法，其進一步包括以下步驟：在一鑽鑿作業期間，改變該組成物的化合物含量以適應在鑽入該地層期間遇到的岩石類型及地層溫度變化。

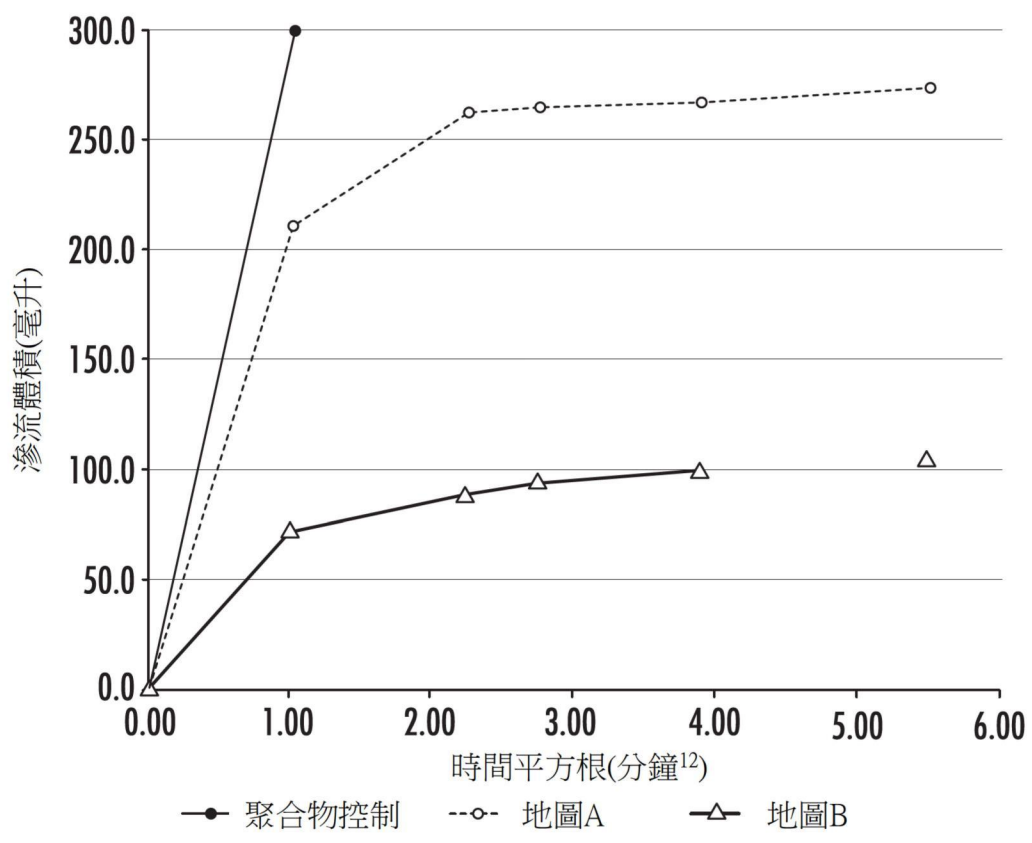
【請求項74】如請求項68之方法，其進一步包括以下步驟：用與該密封井筒之密封表面化學反應的一次級組成物沖洗在該地層內的一密封井筒以增強該密封。

【請求項75】如請求項68之方法，其中，該地層為一熱產生地層。

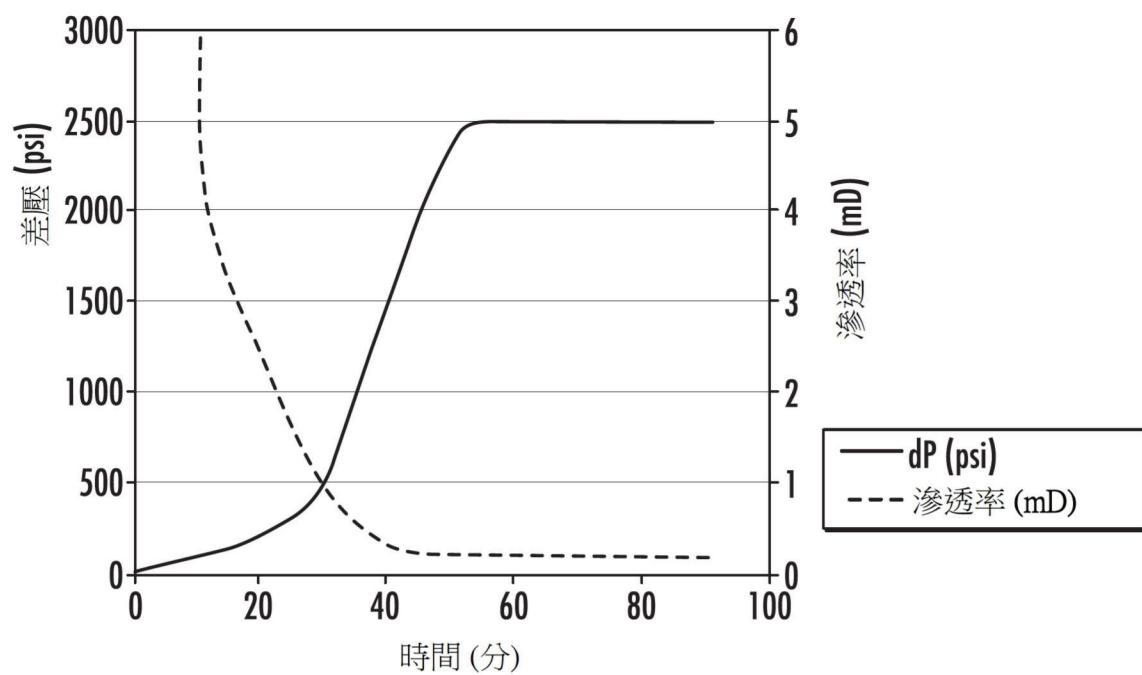
【請求項76】如請求項68之方法，其中，該地層為一地熱產生地層。

【請求項77】如請求項76之方法，其中，該地層為一高溫地熱產生地層。

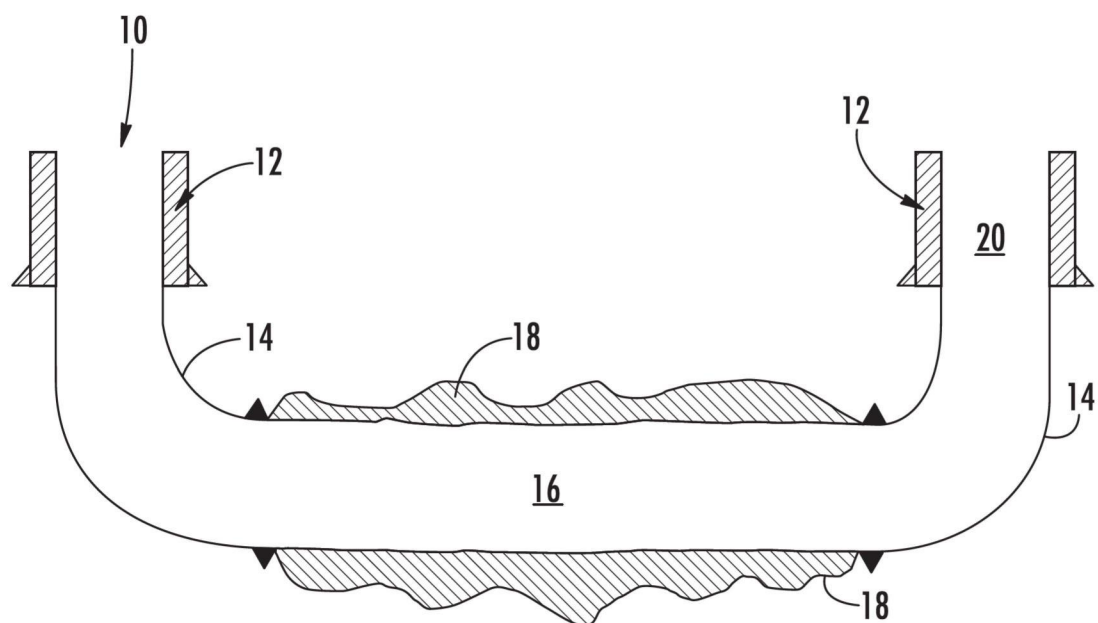
【發明圖式】



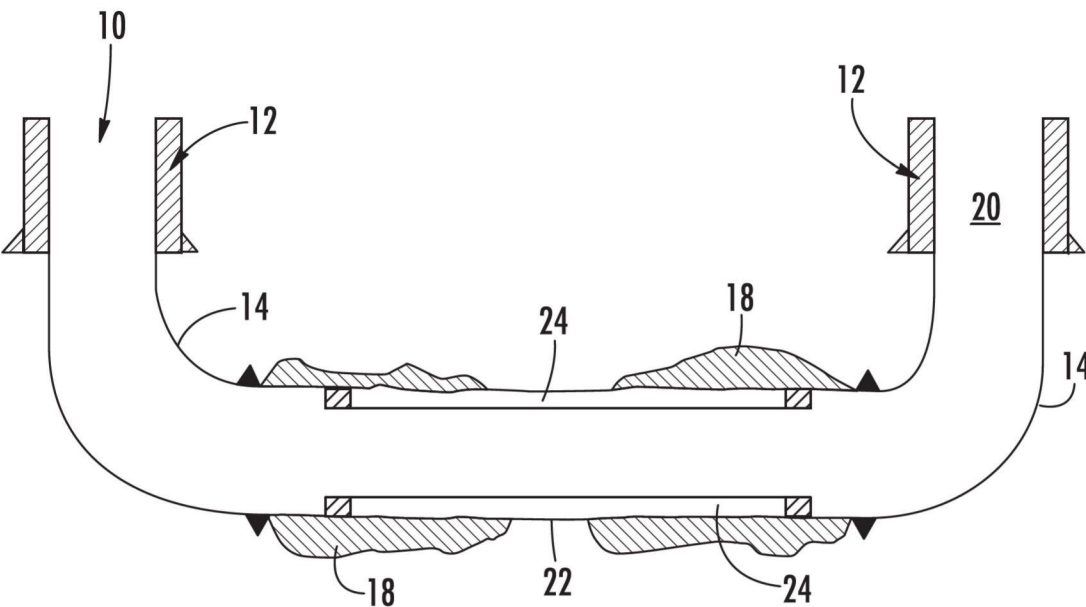
【圖1】



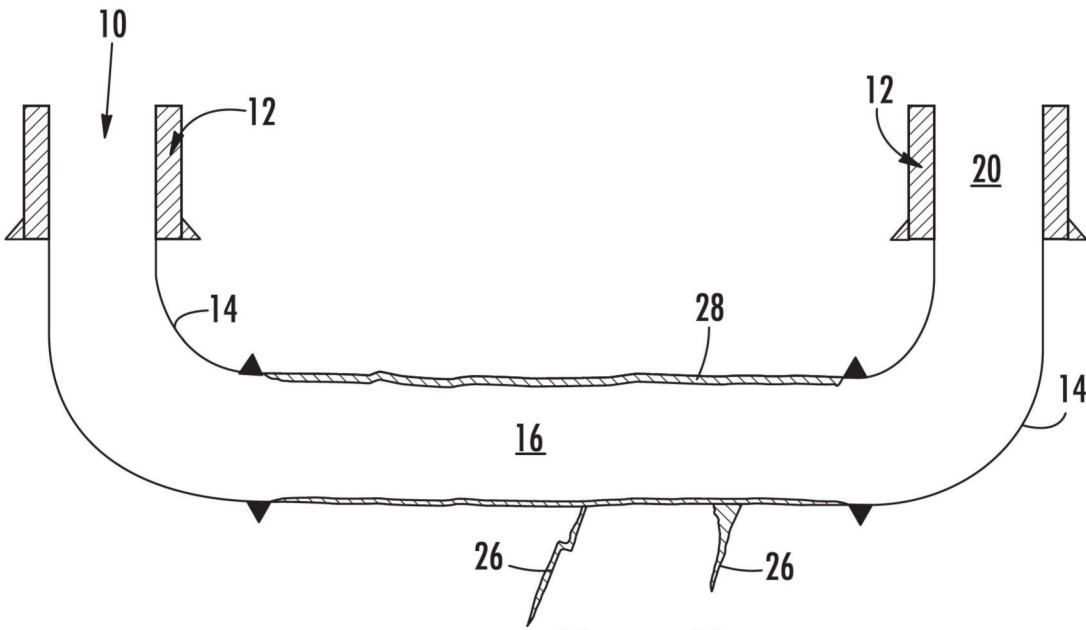
【圖2】



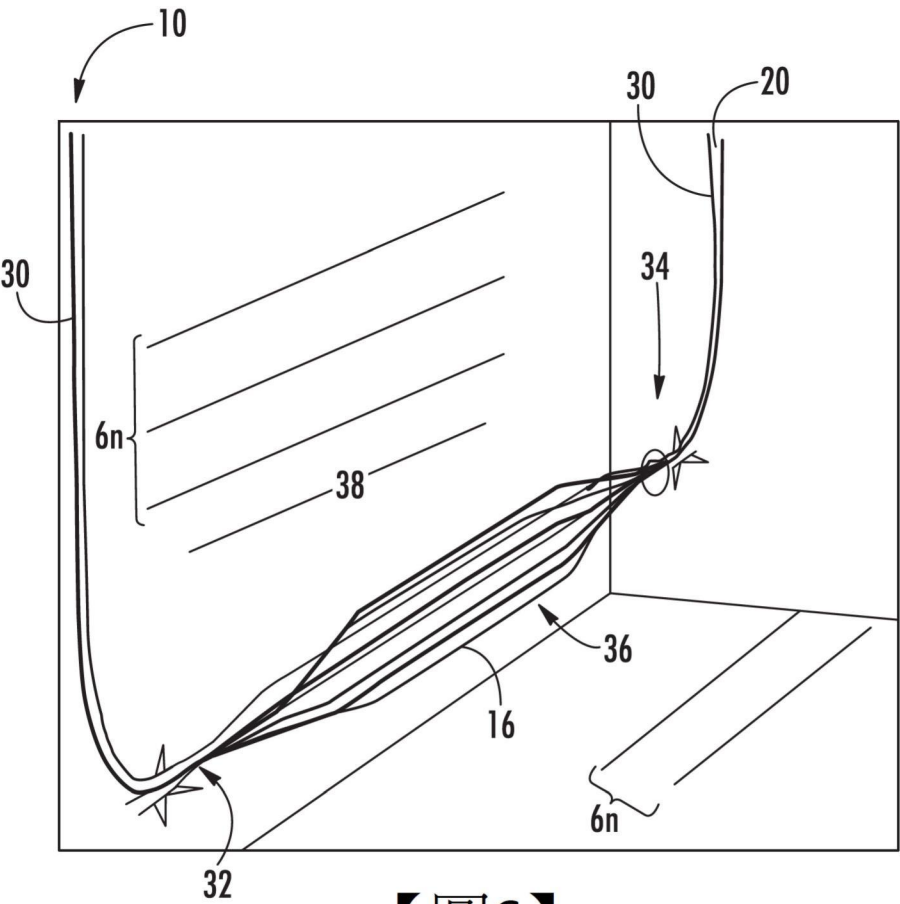
【圖3】



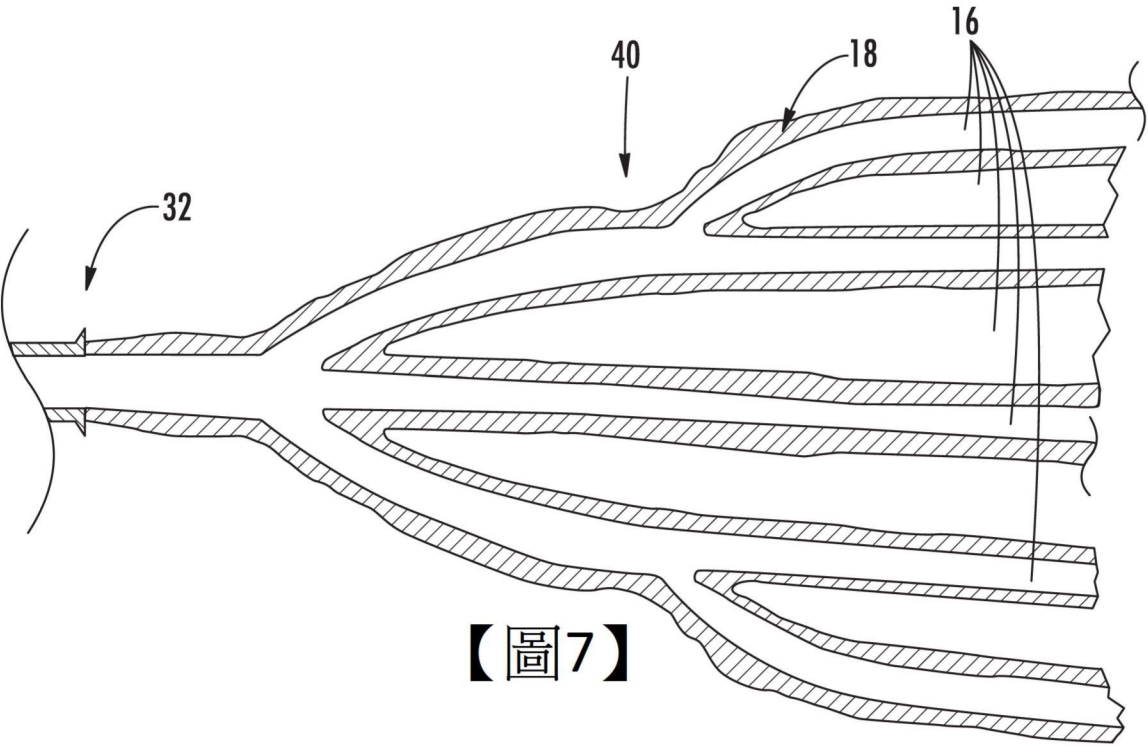
【圖4】



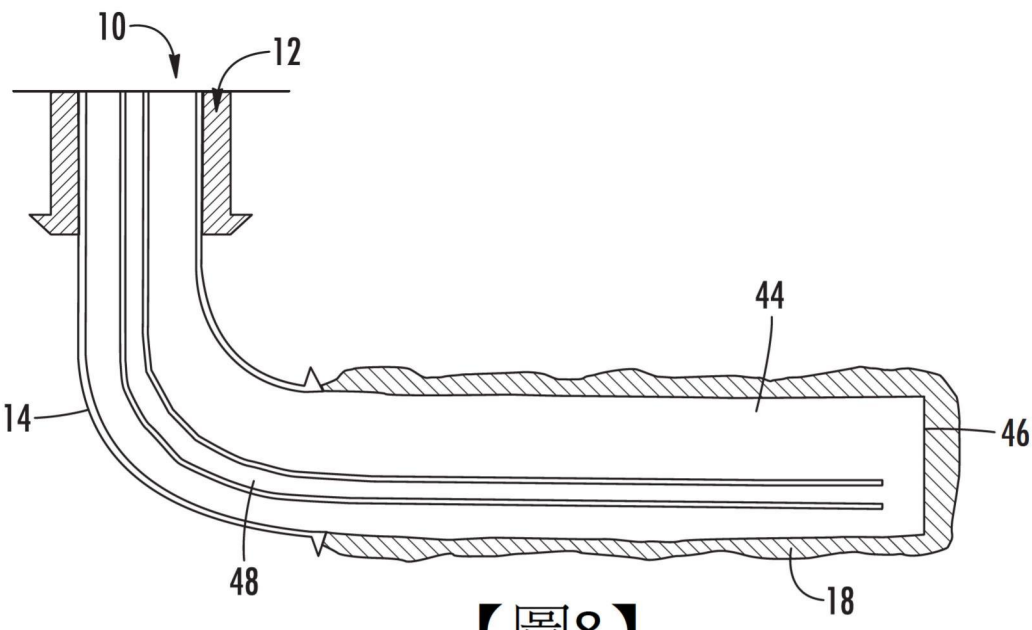
【圖5】



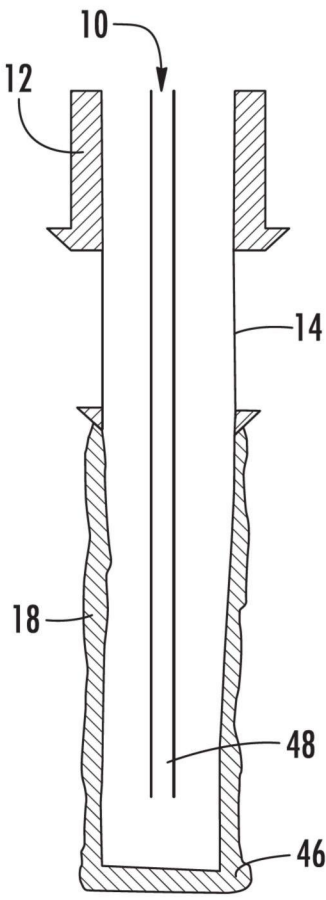
【圖6】



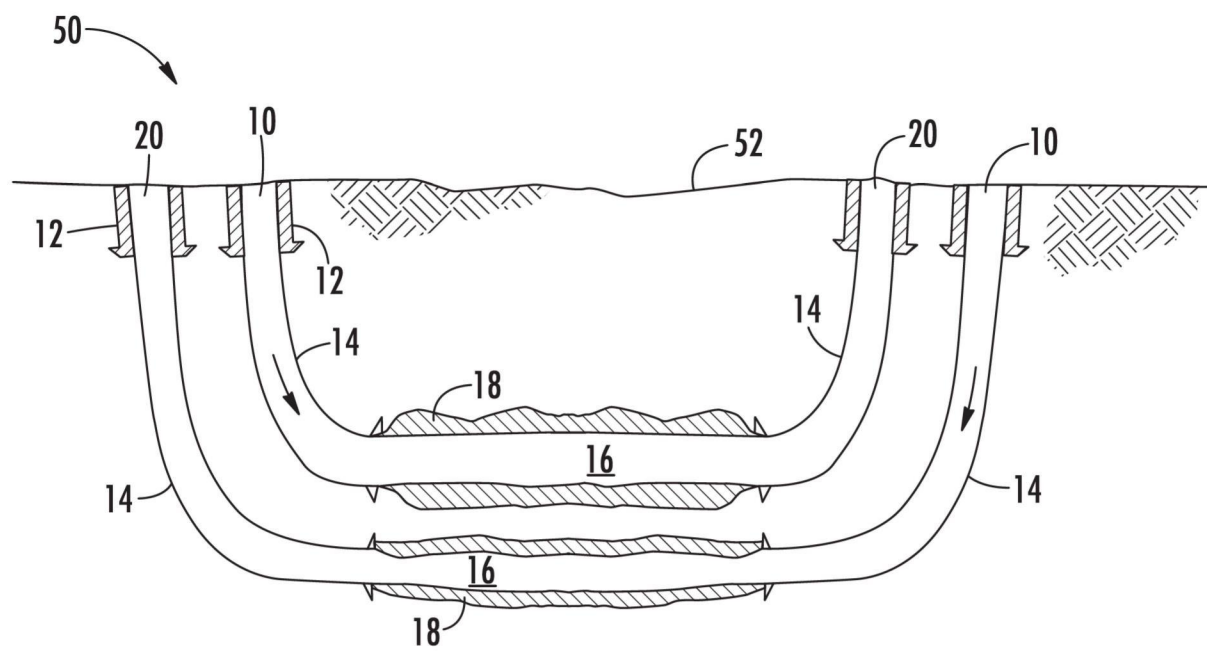
【圖7】



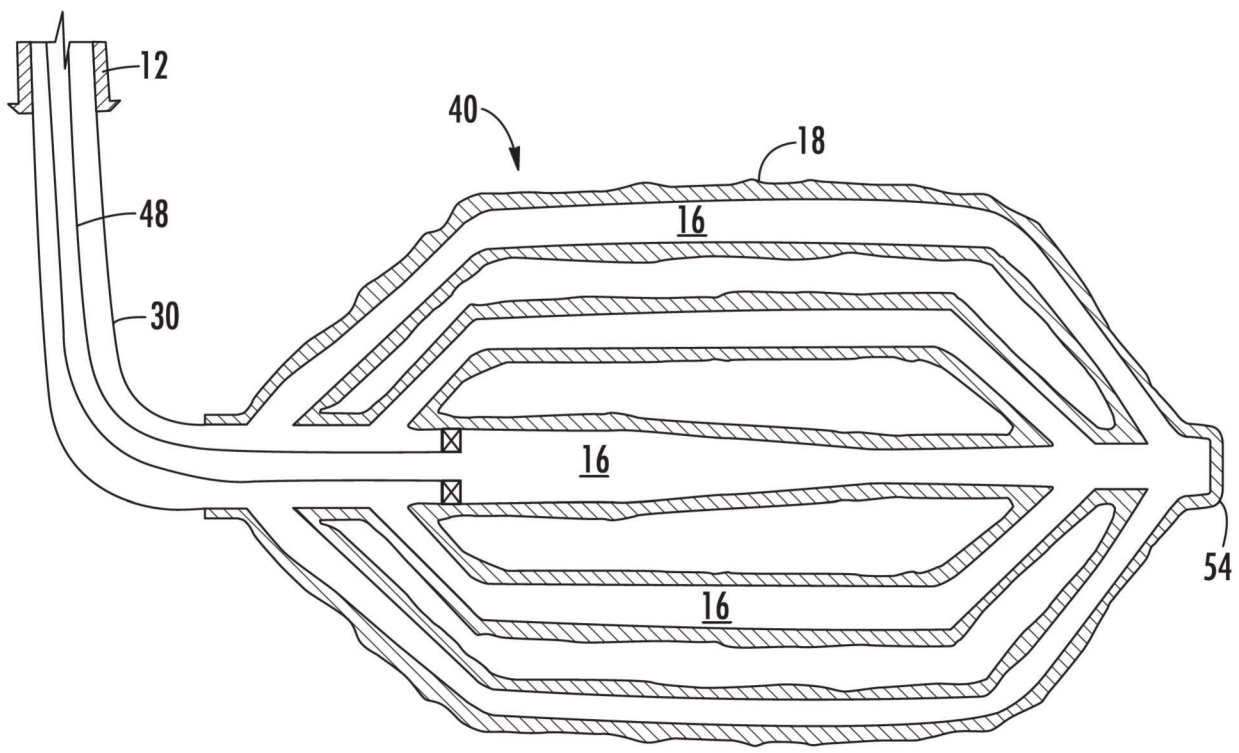
【圖8】



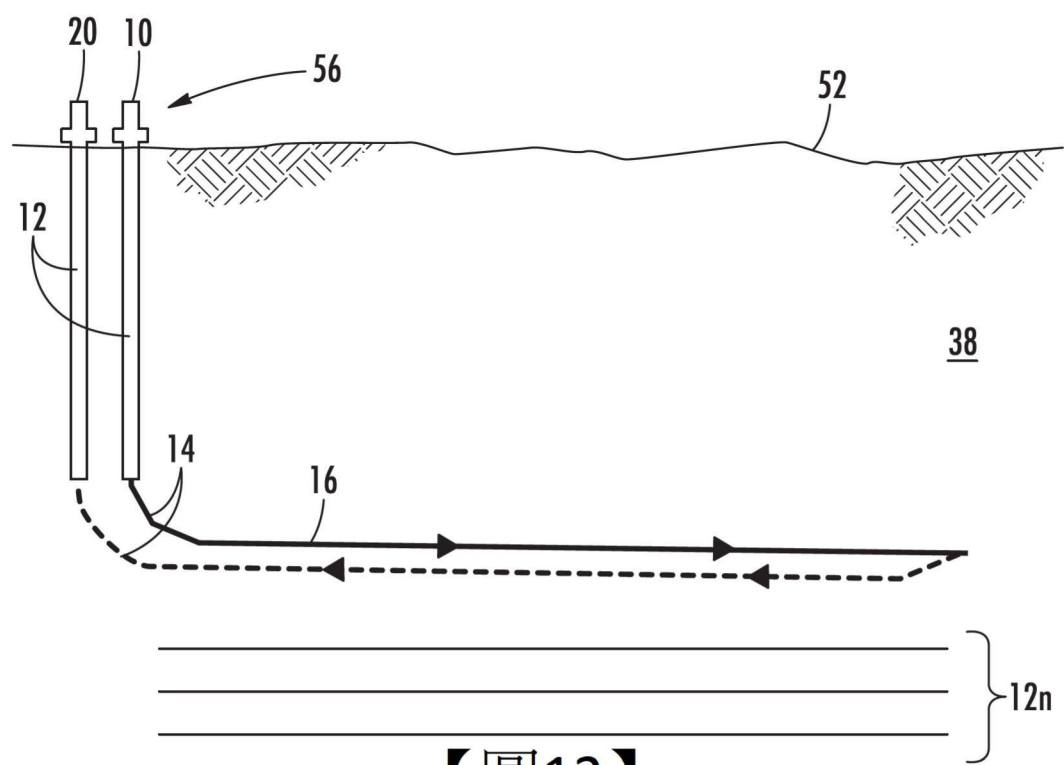
【圖9】



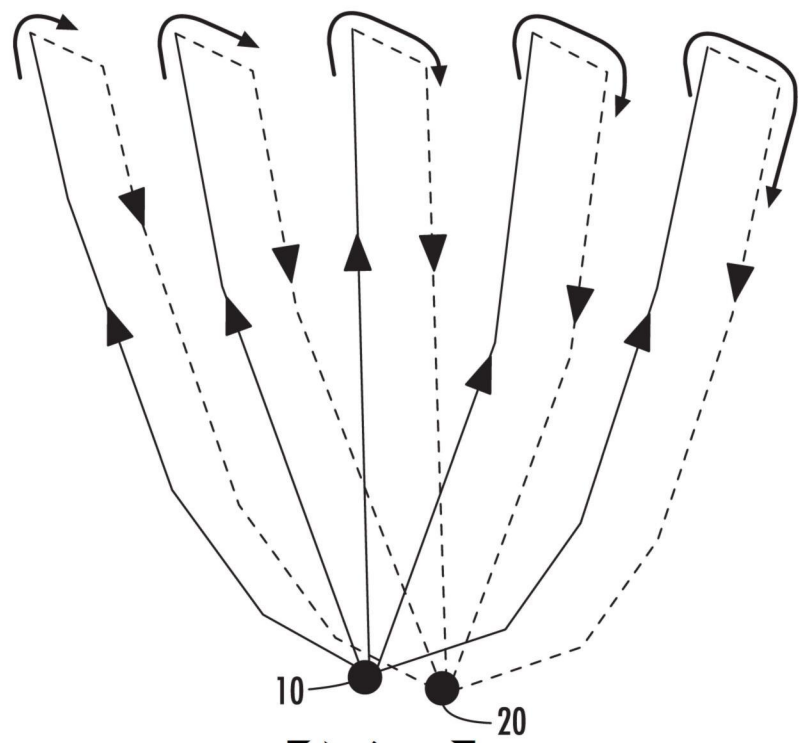
【圖10】



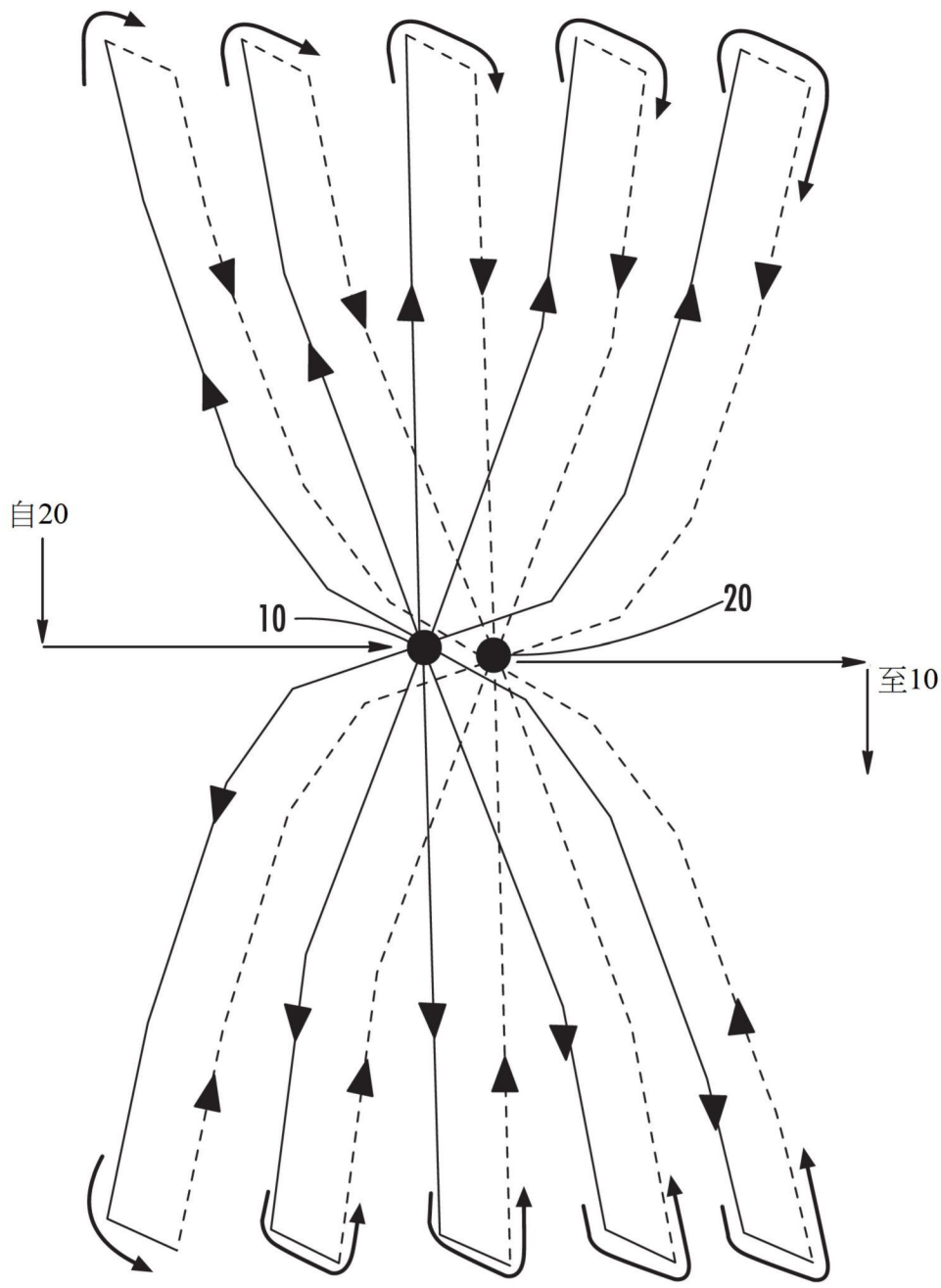
【圖11】



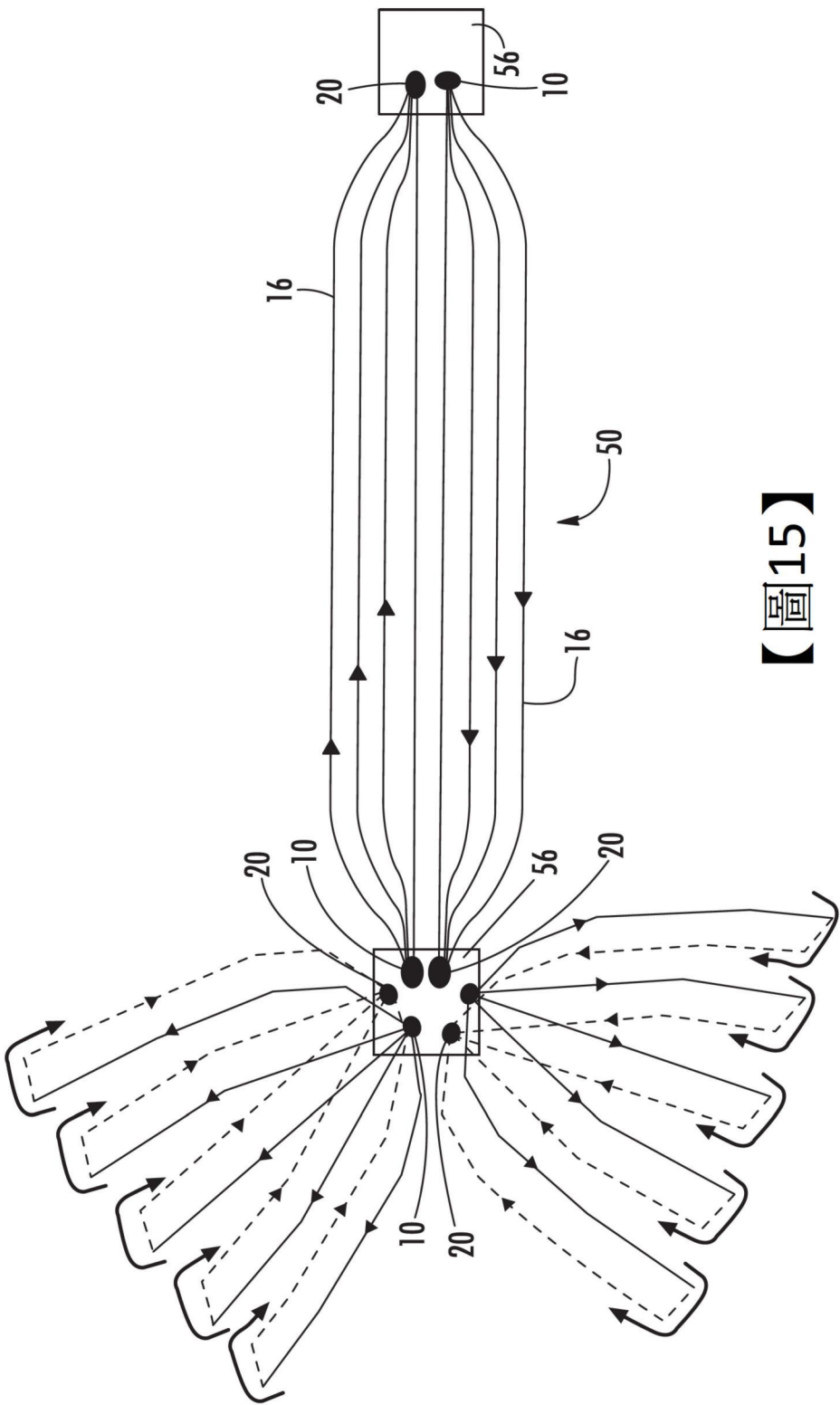
【圖12】



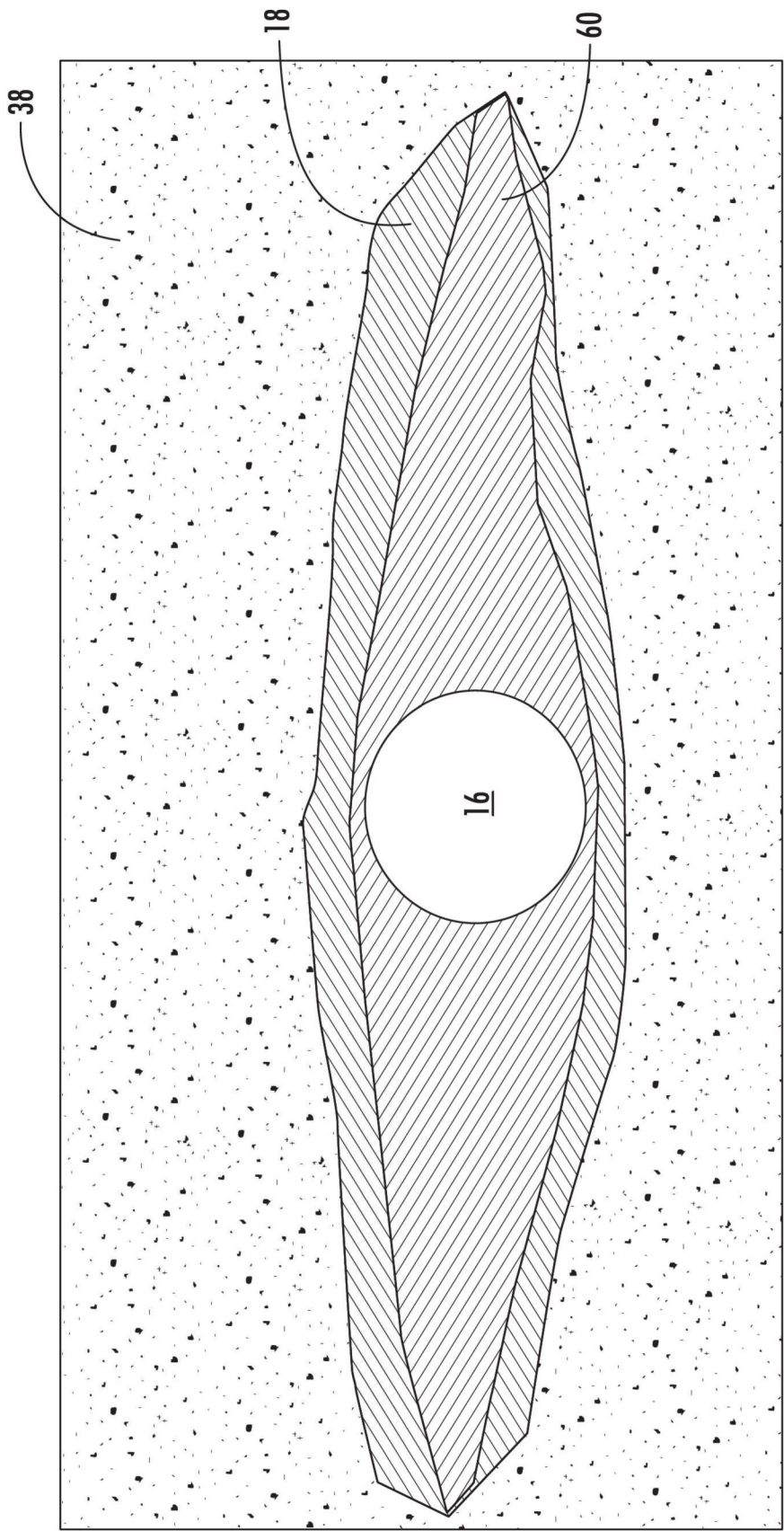
【圖13】



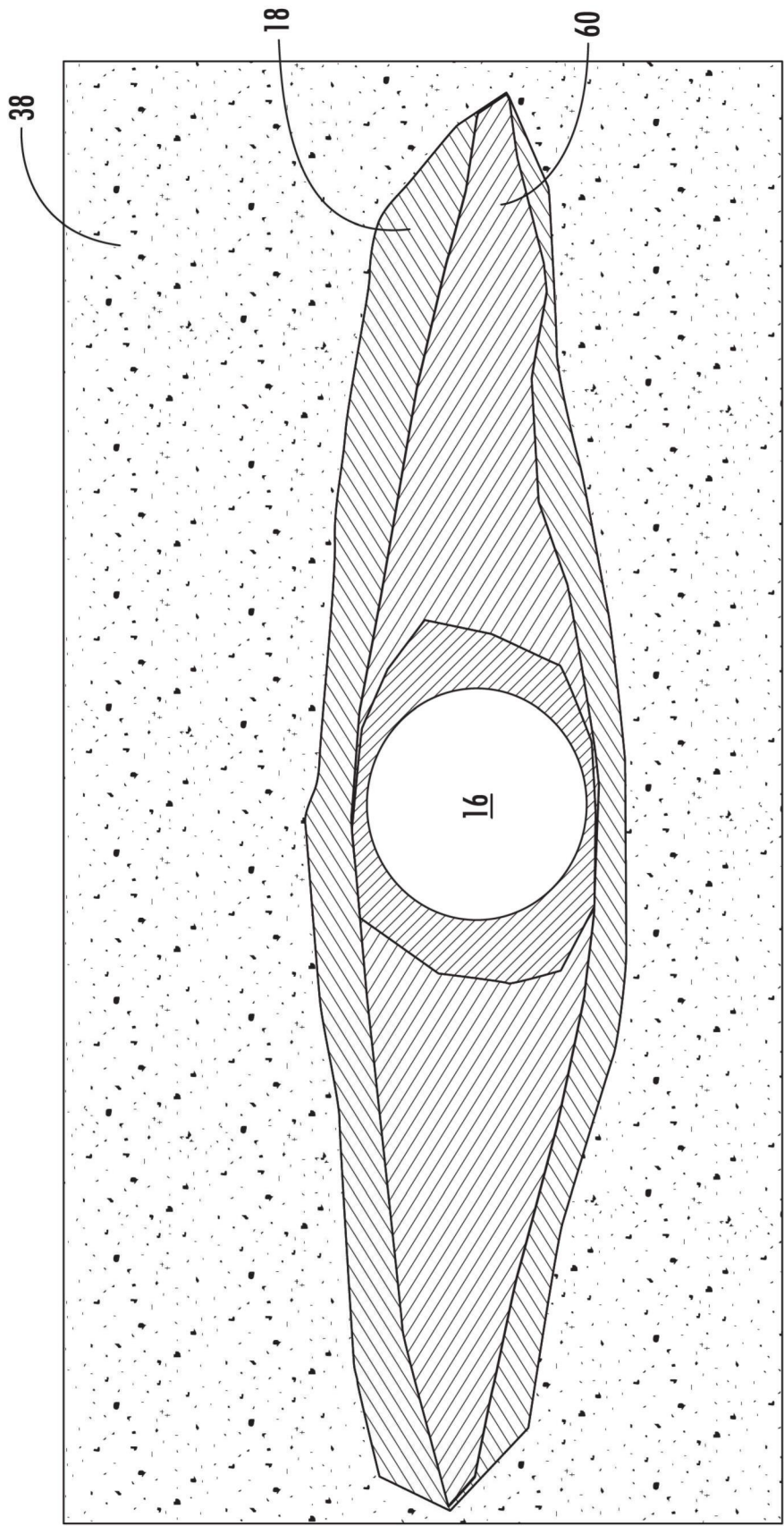
【圖14】



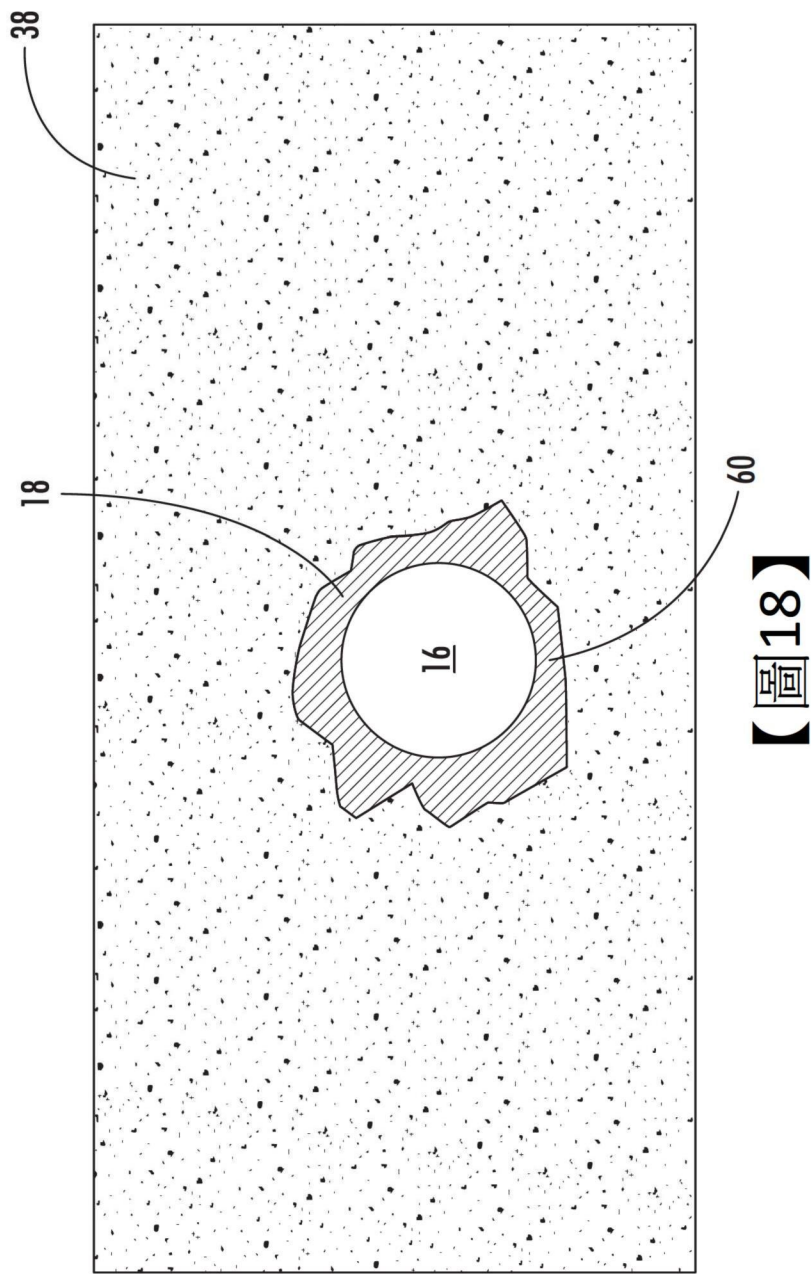
【圖15】

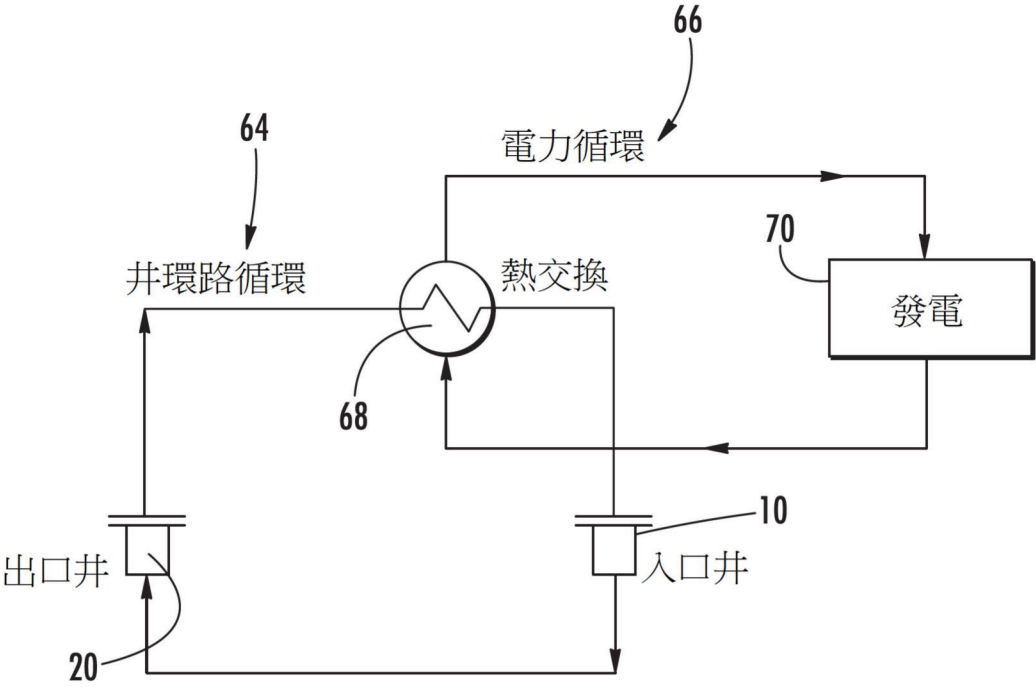


【圖16】

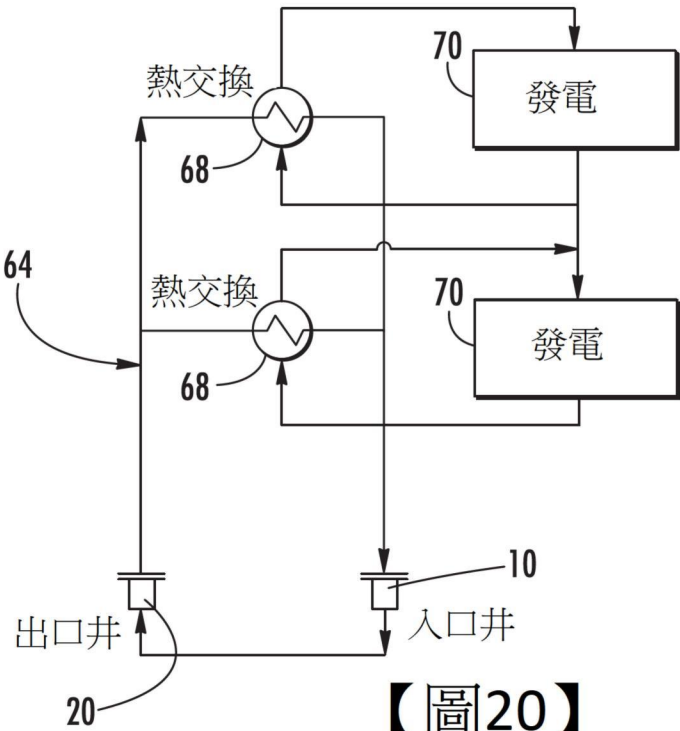


【圖17】

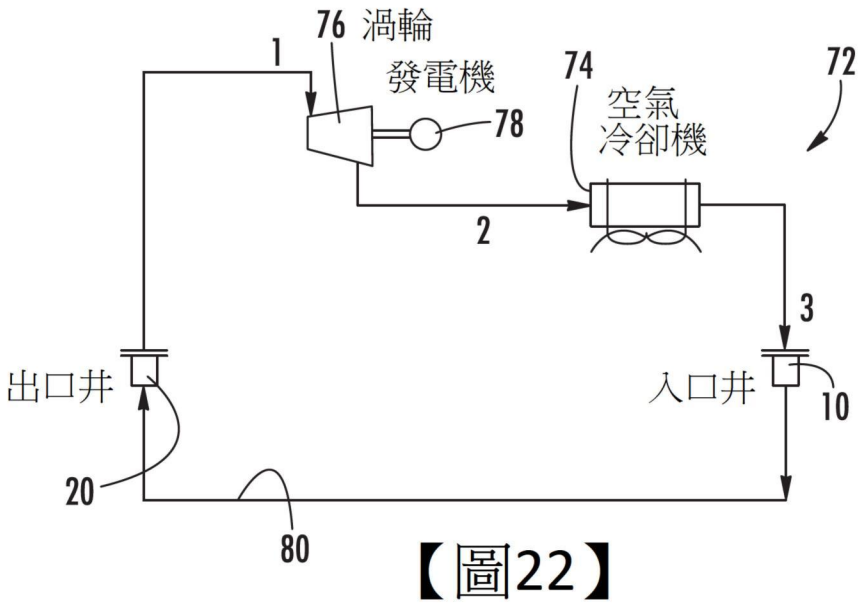
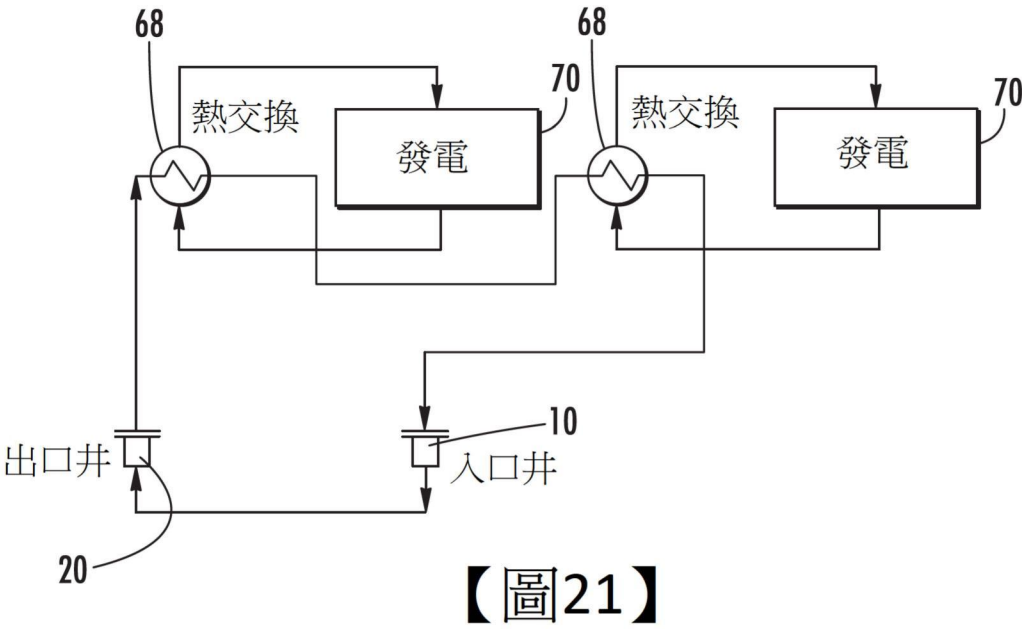


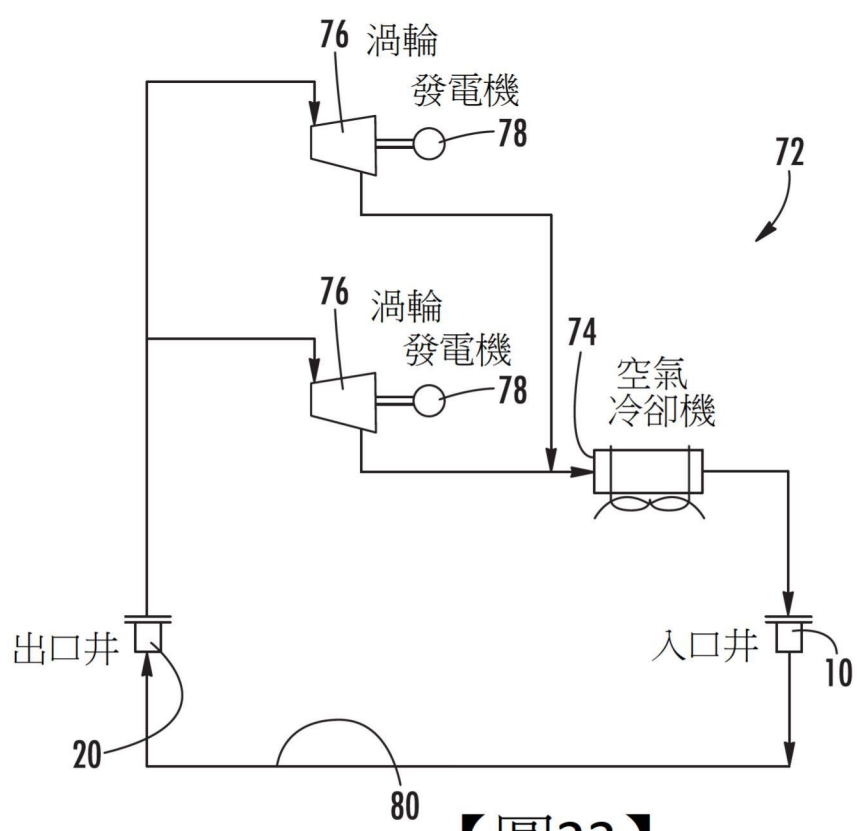


【圖19】

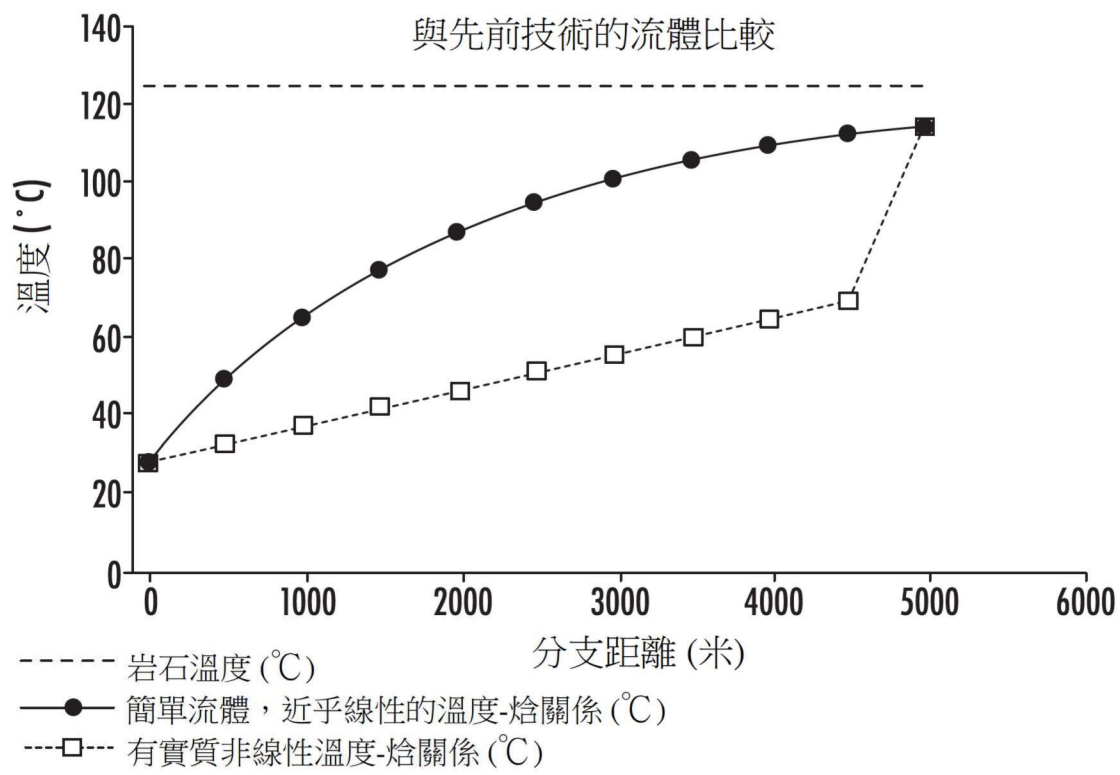


【圖20】

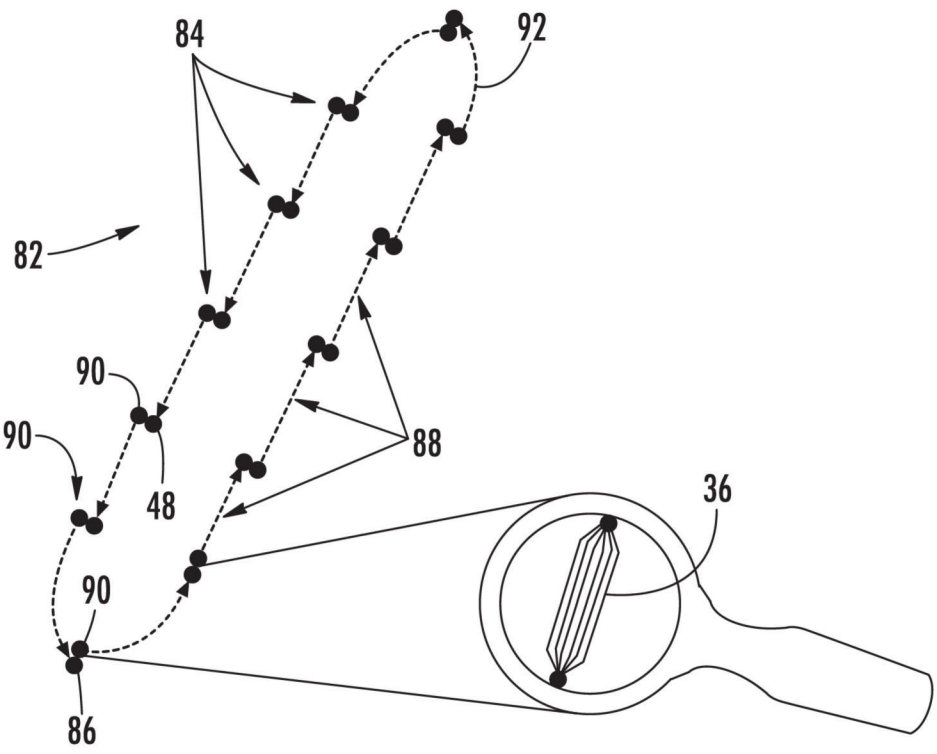




【圖23】

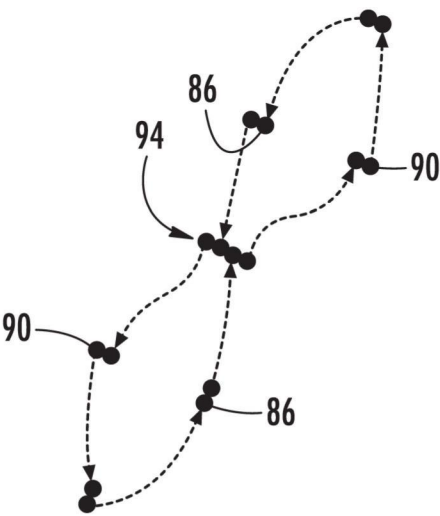


【圖24】



【圖25】

【圖25A】



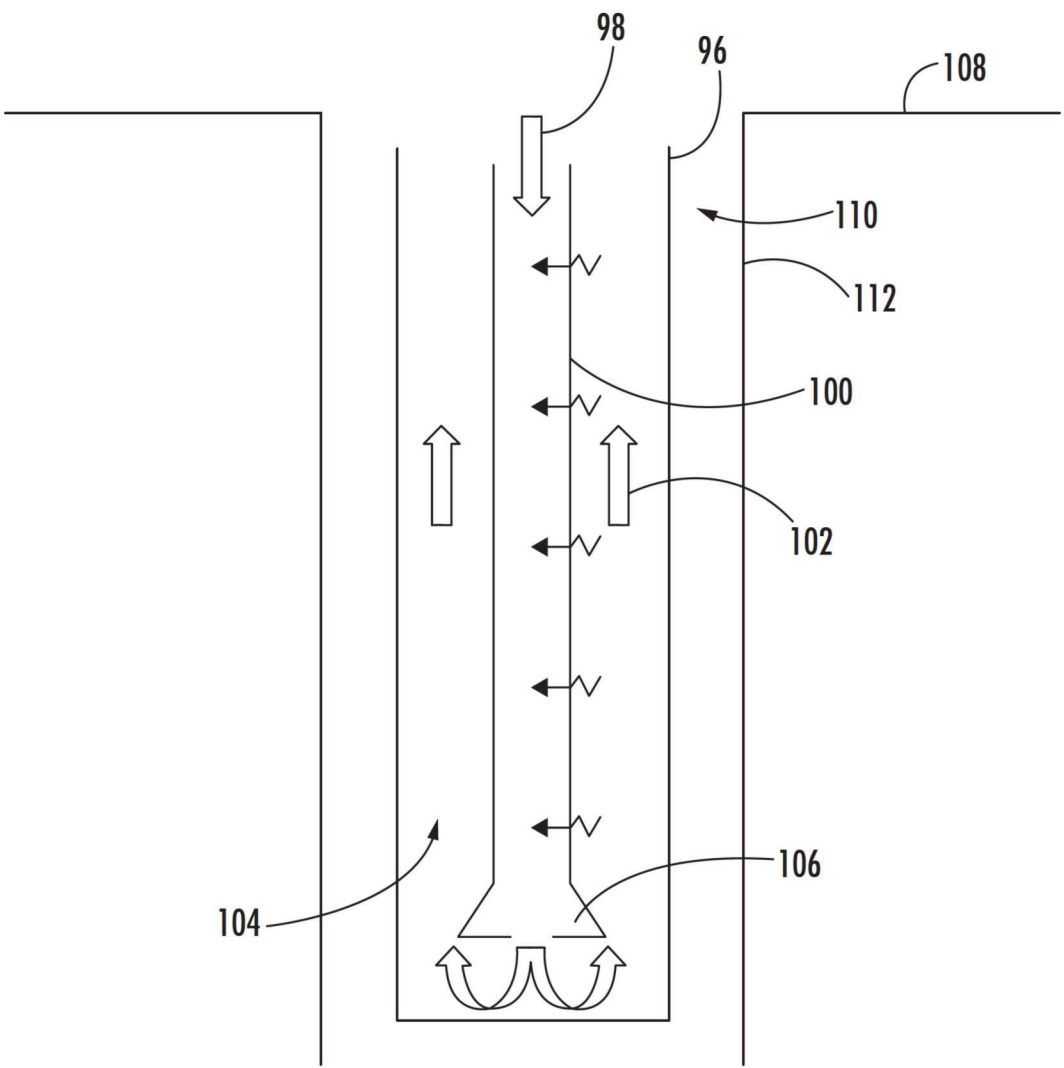
【圖26】



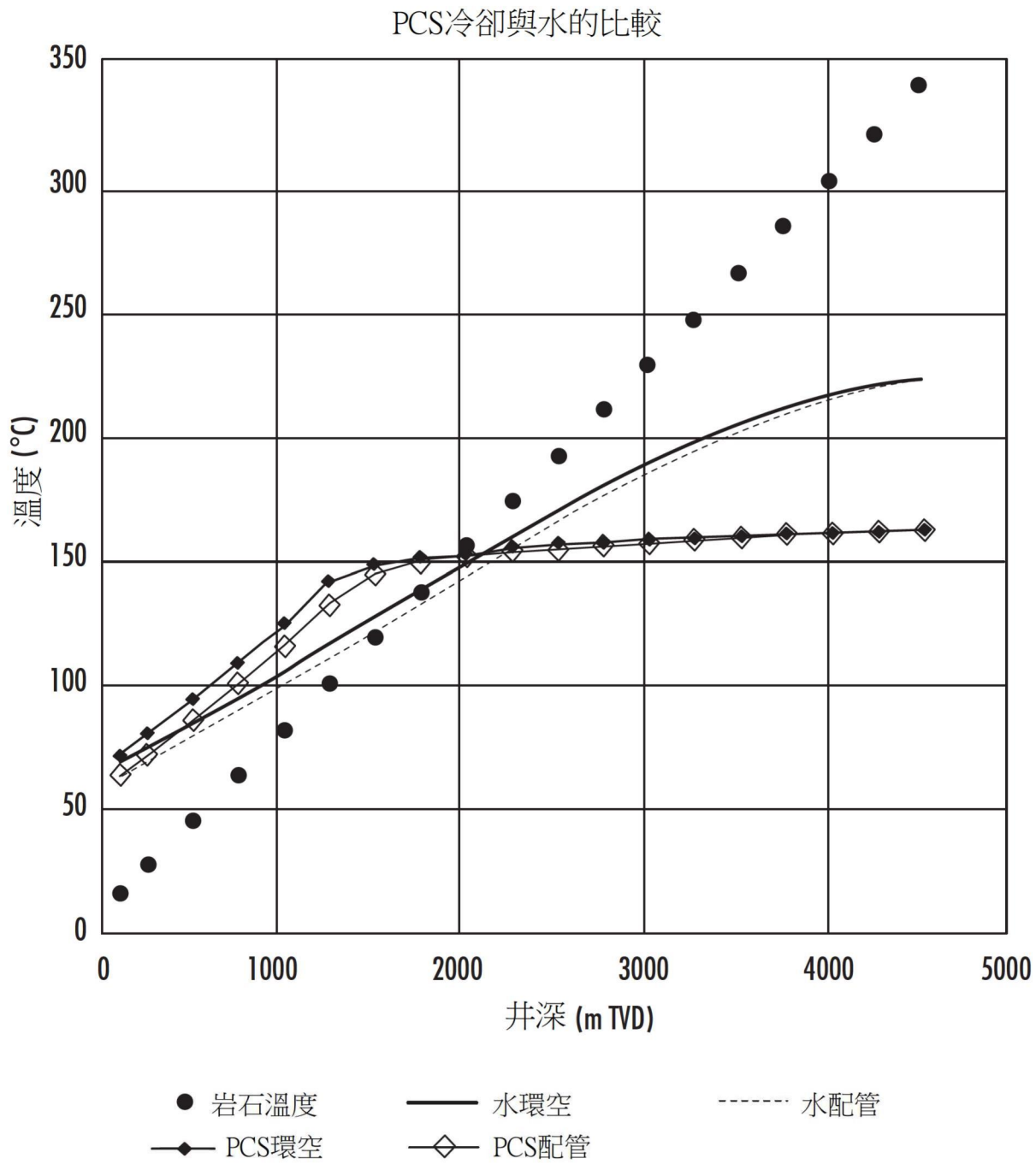
【圖27】



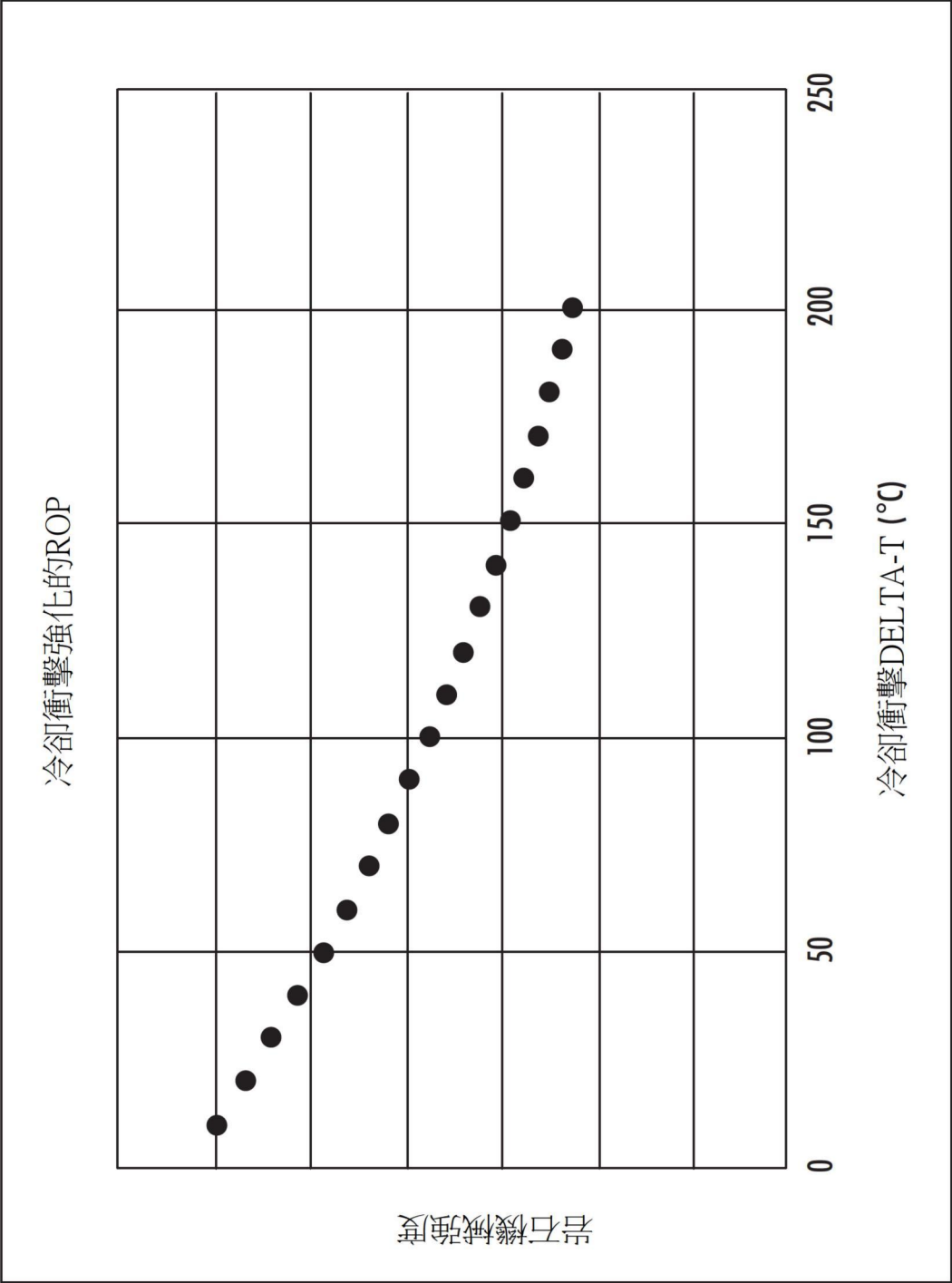
【圖28】



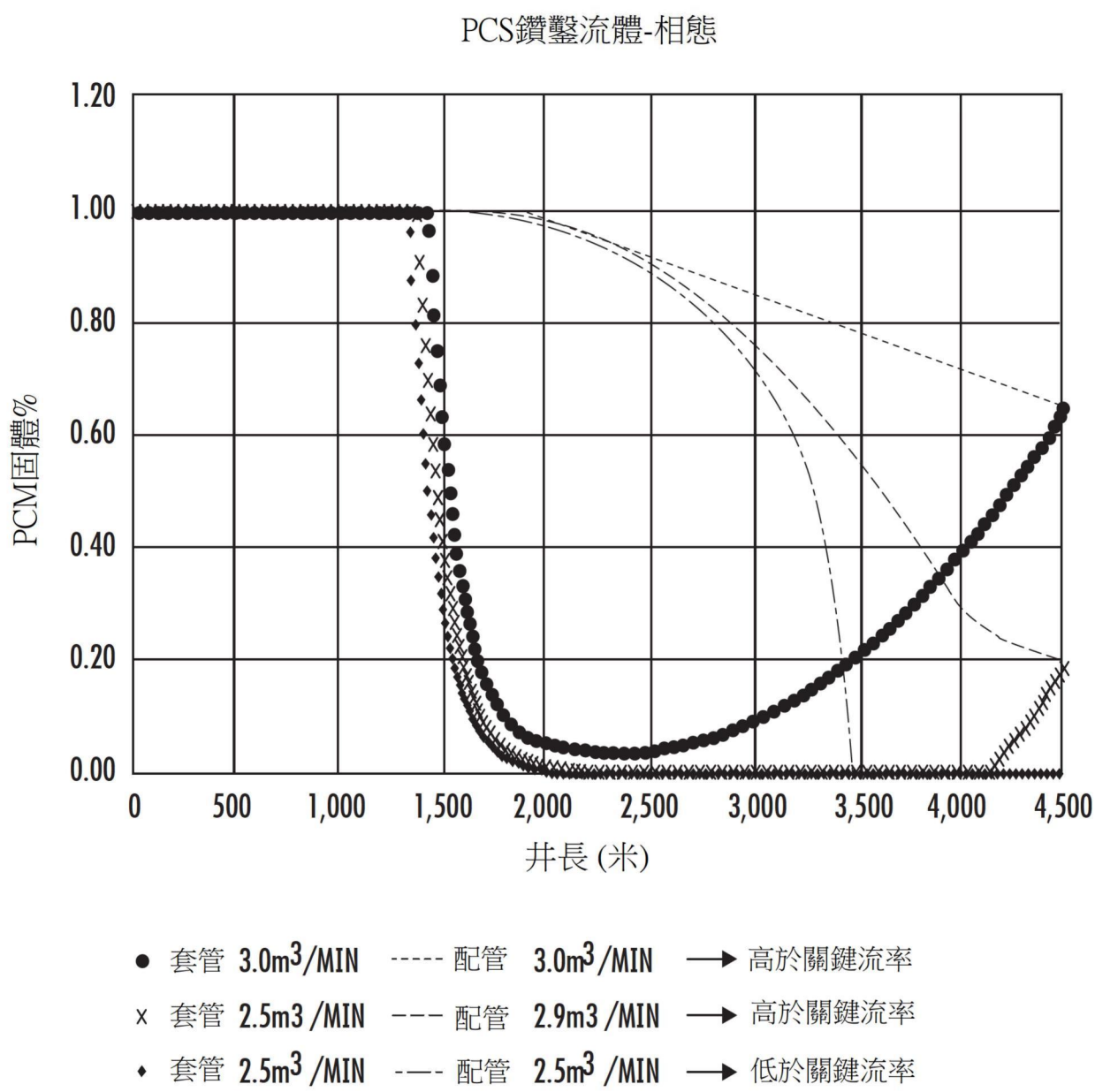
【圖29】



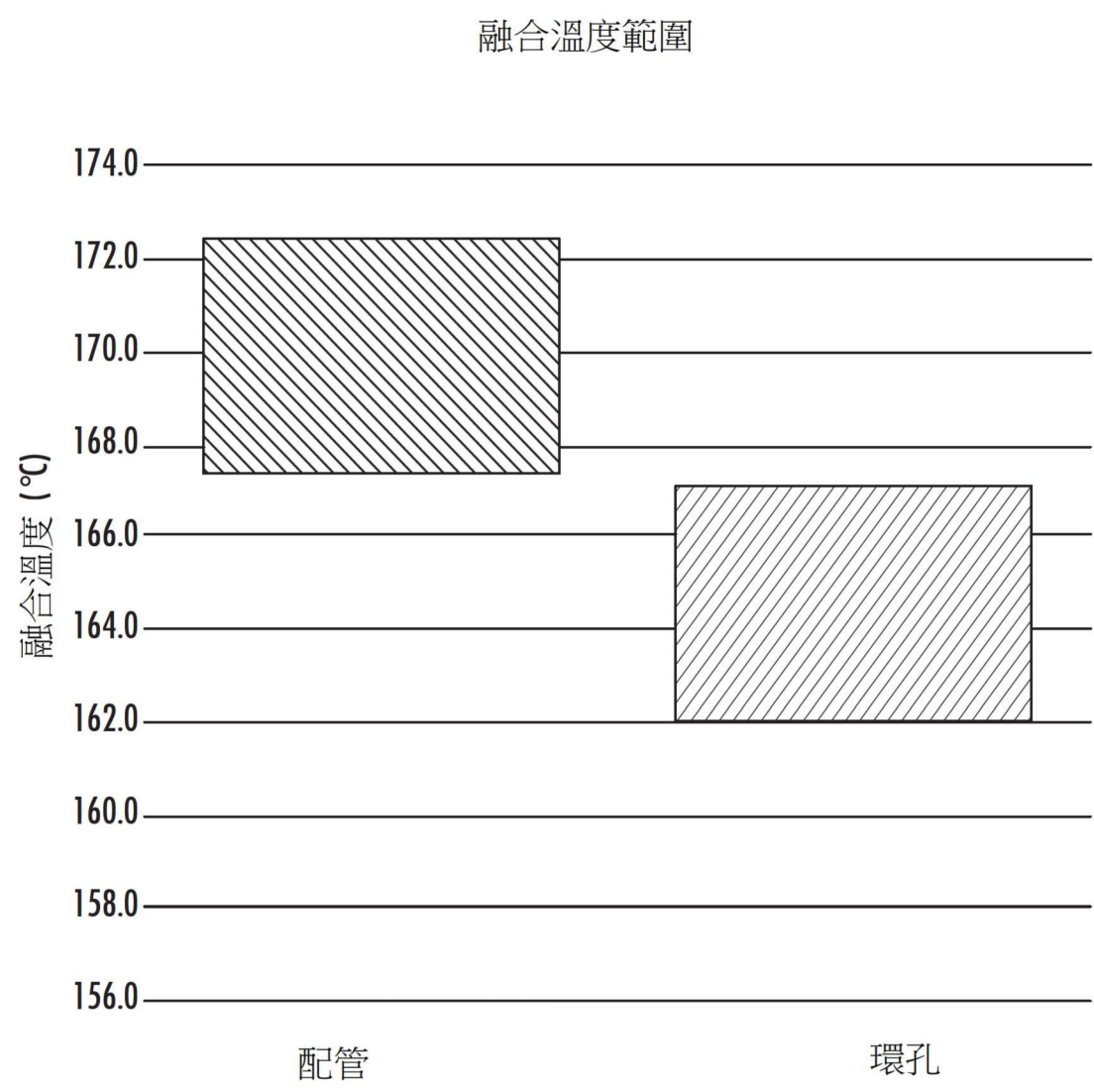
【圖30】



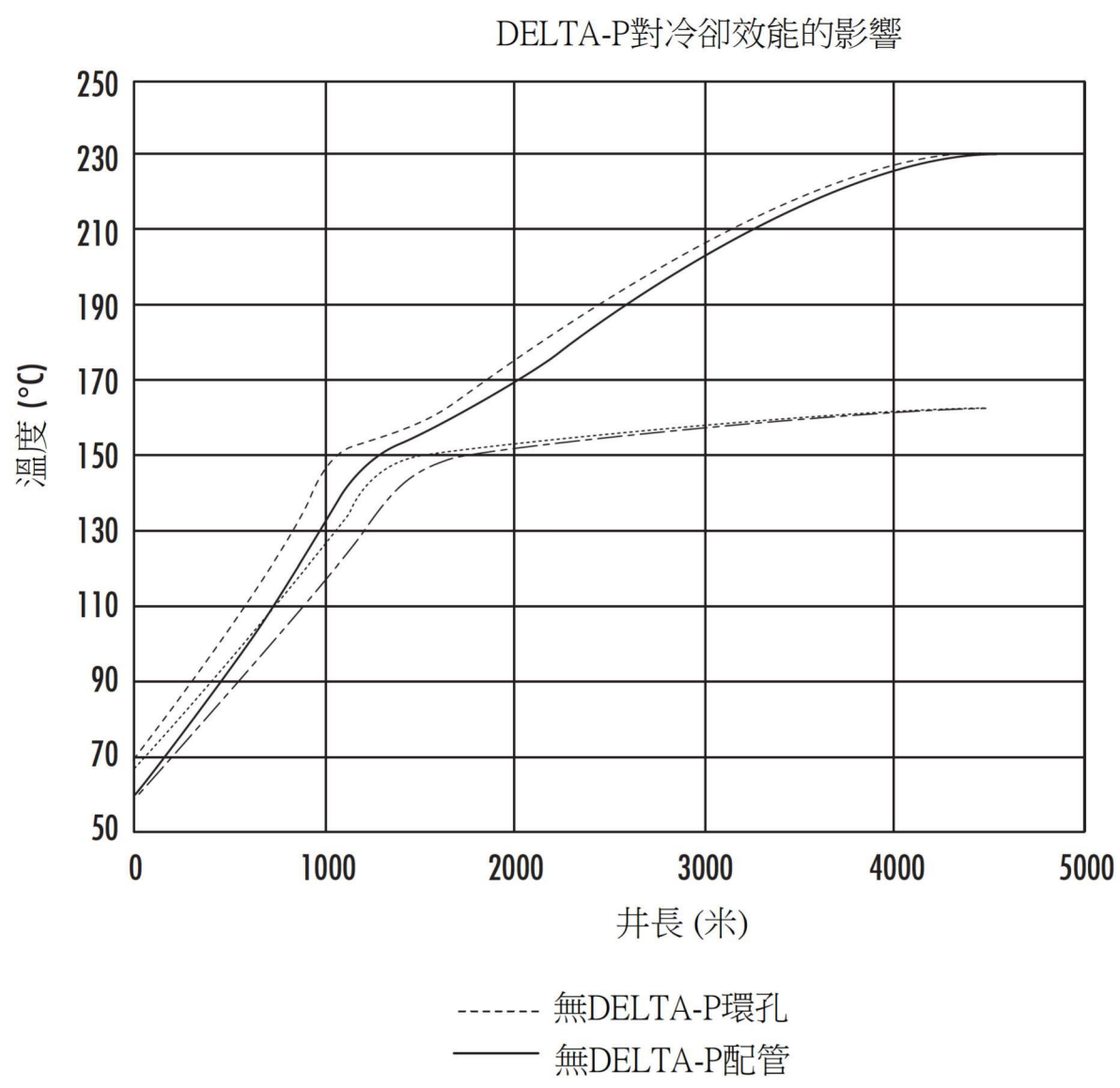
【圖31】



【圖32】



【圖33】



【圖34】