



(19)中華民國智慧財產局

(12)發明說明書公告本

(11)證書號數：TW I853565 B

(45)公告日：中華民國 113 (2024) 年 08 月 21 日

(21)申請案號：112117395

(22)申請日：中華民國 112 (2023) 年 05 月 10 日

(51)Int. Cl. : C09K8/42 (2006.01)

F24T10/17 (2018.01)

E21B33/13 (2006.01)

(30)優先權：2022/05/17 美國

63/342,861

(71)申請人：美商 X G S 能量股份有限公司 (美國) XGS ENERGY, INC. (US)

美國

(72)發明人：蒙卡茲 皮奧特 D MONCARZ, PIOTR D. (US)；布瓦 阿克塞爾 皮埃爾 BOIS,

AXEL-PIERRE (FR)；布爾 丹尼爾 BOUR, DANIEL (US)

(74)代理人：李有財

(56)參考文獻：

CN 107963850A

CN 111499300A

WO 2020/006620A1

審查人員：湯有春

申請專利範圍項數：25 項 圖式數：3 共 37 頁

(54)名稱

熱到達增強防回流組合物和方法

(57)摘要

提出了用於熱到達增強 (TRE) 的組合物和方法，其中，TRE 材料包括至少兩種功能不同的固體成分，這些固體成分也能在放置期間和之後實現高導熱性和最小回流，即使 TRE 被放置在低滲透性地層中。第一成分的特徵在於低動摩擦和壓縮時的變形能力，第二成分的特徵在於內部和外部動摩擦高及壓縮時的互鎖，且第一成分和第二成分形成具有最小孔隙空間的壓實的混合高熱 k 材料。

Compositions and methods for thermal reach enhancement (TRE) are presented in which a TRE material comprises at least two functionally distinct solid components that enable high thermal conductivity with minimal flowback during and after placement, even where the TRE is placed into a low permeability formation. The first component is characterized by low kinetic friction and deformability upon compression, the second component is characterized by high internal and external kinetic friction and interlocking upon compression, and the first and second components form a compacted hybrid high thermal k material with minimal void space.

指定代表圖：

符號簡單說明：

10:地熱井

12:井筒

14B:導熱材料

16:套管

18:環形空間

20:地層

22:裂縫

24:混合物

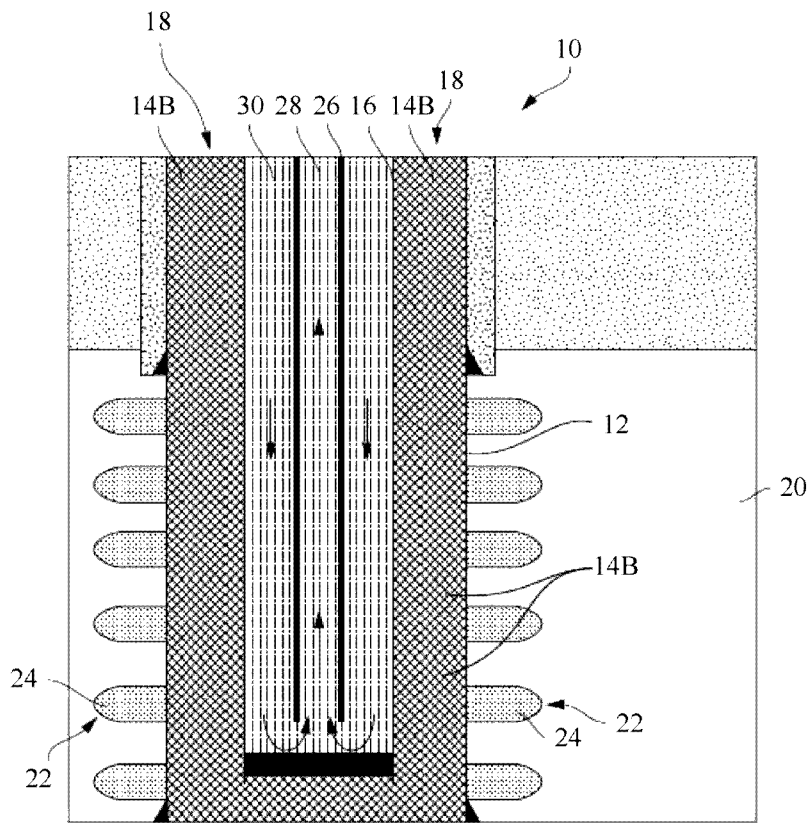


圖 1

**公告本**

I853565

**【發明摘要】****【中文發明名稱】** 熱到達增強防回流組合物和方法**【英文發明名稱】** THERMAL REACH ENHANCEMENT FLOWBACK PREVENTION COMPOSITIONS AND METHODS**【中文】**

提出了用於熱到達增強（TRE）的組合物和方法，其中，TRE材料包括至少兩種功能不同的固體成分，這些固體成分也能在放置期間和之後實現高導熱性和最小回流，即使TRE被放置在低滲透性地層中。第一成分的特徵在於低動摩擦和壓縮時的變形能力，第二成分的特徵在於內部和外部動摩擦高及壓縮時的互鎖，且第一成分和第二成分形成具有最小孔隙空間的壓實的混合高熱k材料。

**【英文】**

Compositions and methods for thermal reach enhancement (TRE) are presented in which a TRE material comprises at least two functionally distinct solid components that enable high thermal conductivity with minimal flowback during and after placement, even where the TRE is placed into a low permeability formation. The first component is characterized by low kinetic friction and deformability upon compression, the second component is characterized by high internal and external kinetic friction and interlocking upon compression, and the first and second components form a compacted hybrid high thermal k material with minimal void space.

**【指定代表圖】** 圖1**【代表圖之符號簡單說明】**

10:地熱井

12:井筒

14B:導熱材料

16:套管

18:環形空間

20:地層

22:裂縫

24:混合物

**【發明說明書】**

113年3月29日修正本

**【中文發明名稱】** 熱到達增強防回流組合物和方法**【英文發明名稱】** THERMAL REACH ENHANCEMENT FLOWBACK PREVENTION COMPOSITIONS AND METHODS**【技術領域】**

**【0001】** 本申請要求共同未決的美國臨時申請案的優先權和權益，該臨時申請案的申請號為63/342,861，名稱為「Thermal Reach Enhancement Flowback Prevention Compositions And Methods」，該臨時申請案於2022年5月17日提交，並且透過引用併入本文。

**【0002】** 本申請的技術領域是用於改進閉環地熱系統（closed loop geothermal system，CLGS）井的熱到達增強（thermal reach enhancement，TRE）的組合物和方法，特別是因為其涉及在放置高導熱流體系統期間和之後減少或防止高熱導率（熱k）材料回流的組合物和方法。

**【先前技術】**

**【0003】** 背景描述包括可有助於瞭解本申請的資訊。不承認本文提供的任何資訊是先前技術或與本申請相關，或者明確或暗示引用的任何出版物是先前技術。

**【0004】** 閉環地熱系統（CLGS）被設計為從地下提取熱能來發電或將提取的能量用於其他目的，例如：為工業目的或住宅供暖提供熱量。基本概念是在地面上鑽一個孔，直至地層具有所需的高溫，並在由套管和井下絕緣管外部形成的環形空間內循環冷卻的工作流體（例如：水），並且在工作流體被加熱時，透

過該絕緣管返回到表面（例如：作為蒸汽），如圖1示例性所示。通常，透過在系統上保持足夠的壓力來使工作流體保持液體形式，以防止工作流體（即，水等）蒸發。

### 【發明內容】

【0005】 本申請涉及用於地熱回收中的熱到達增強的各種組合物和方法，其中，TRE材料包括一種或多種不同的固體成分，其能夠在放置期間和之後實現高導熱性和最小回流，即使TRE被放置在低滲透性地層中（例如：侵入火成岩或變質岩）。

【0006】 在本申請的一個方面，設想了一種熱到達增強組合物，其包括：複數個第一高熱 $k$ 顆粒和複數個第二高熱 $k$ 顆粒的混合物，其中，該些第一高熱 $k$ 顆粒和該些第二高熱 $k$ 顆粒在化學上和物理上是不同的。在本文中，應當注意，術語「熱導率」和「熱 $k$ 」在本文中可互換使用。在此類組合物中，該些第一高熱 $k$ 顆粒由第一材料形成，並且具有形狀，使得該些第一高熱 $k$ 顆粒的塊體（mass）在壓縮負載時發生彈性和塑性變形；該些第二高熱 $k$ 顆粒由第二材料形成，並且具有形狀，使得該些第二高熱 $k$ 顆粒的塊體在壓實時僅發生彈性變形。

【0007】 在一些實施例中，該些第一高熱 $k$ 顆粒成形為薄片或薄板（platelets），和/或該些第一高熱 $k$ 顆粒是微米或奈米尺寸的顆粒。在進一步的實施例中，該些第一高熱 $k$ 顆粒是含碳材料顆粒。舉例而言，合適的含碳材料包括單壁和/或多壁碳奈米管、石墨烯、氧化石墨烯奈米片、石墨粉、膨脹石墨、石墨片、熱解石墨、脫硫石油焦、飛灰。當需要時，含碳材料還可以是表面改質的微米或奈米結構的碳同素異形體或表面改質的煤。

【0008】 在又一些實施例中，該些第二高熱k顆粒是不規則形狀的粒狀物和/或顆粒，並且尺寸通常使得顆粒的任何兩個維度的長寬比（aspect ratio）等於或小於10，和/或該些第二高熱k顆粒是微米和/或毫米尺寸的顆粒。當需要時，該些第二高熱k顆粒具有跨越至多1個對數單位的粒度分佈，和/或該些第二高熱k顆粒具有至少7的莫氏硬度。舉例而言，該些第二高熱k顆粒可以是金屬顆粒和/或金屬氧化物顆粒（例如：錫、鋁、銅、鐵、銀、金、鋁銅合金或銀鋁合金、二氧化矽、氧化鋁（alumina）、氧化銅、氧化鋅、三氧化二鋁（aluminum oxide）、赤鐵礦、磁鐵礦、氧化錫等）。替代地或附加地，該些第二高熱k顆粒還可以是重晶石、氮化鋁、氮化矽和/或碳化矽顆粒。

【0009】 還進一步設想該些第一高熱k顆粒和該些第二高熱k顆粒以1:100至100:1之間的體積比存在於該組合物中，和/或該組合物還可包括足以產生可泵送/可流動漿料的量的水。容易理解的是，該組合物可包括分散劑、塑化劑、表面活性劑、有機聚合物、氯化鈉（NaCl）或氯化鉀（KCl）或其他無機鹽中的一種或多種。

【0010】 從不同的角度來看，熱到達增強組合物可以包括複數個第一高熱k顆粒和複數個第二高熱k顆粒的混合物，其中，該些第一高熱k顆粒和該些第二高熱k顆粒在物理上是不同的（並且可以具有不同的化學成分），其中，該些第一高熱k顆粒具有片狀形狀，並且其中該些第二高熱k顆粒具有不規則形狀（通常為粒狀物）。關於該些第一高熱k顆粒和該些第二高熱k顆粒的材料和尺寸，適用與上述相同的設想。此外，該些第一高熱k顆粒和該些第二高熱k顆粒可以1:100至100:1之間的體積比存在於該組合物中，和/或可以加入足以產生可泵送/可流動

漿料的量的水。當需要時，該組合物還可包括分散劑、塑化劑、表面活性劑、有機聚合物、NaCl或KCl或其他無機鹽中的一種或多種。

【0011】 因此，設想了一種熱到達增強結構，其包括壓實的複數個第一高熱k顆粒的網狀物（network）在互鎖（interlocked）的複數個第二高熱k顆粒的網狀物（network）內；其中，該些第一高熱k顆粒和第二高熱k顆粒在物理和化學上是不同的；並且其中該些第一高熱k顆粒的網狀物和該些第二高熱k顆粒的網狀物設置在地層內的裂縫中，並且與高熱k材料和/或用於井筒中的工作流體的管道熱耦合。

【0012】 在最優選的方面，壓實的該些第一高熱k顆粒的網狀物和互鎖的該些第二高熱k顆粒的網狀物由上述組合物形成。因此，所設想的該些第一高熱k顆粒的網狀物和該些第二高熱k顆粒的網狀物可以具有熱導率，該熱導率是該熱到達增強結構位於其中的岩層的熱導率的至少兩倍。舉例而言，該些第一高熱k顆粒的網狀物和該些第二高熱k顆粒的網狀物可具有至少50W/mK的熱導率。最典型地，裂縫從井筒延伸至少井筒的半徑的八倍。舉例而言，裂縫可以從井筒延伸高達100公尺。還設想了井筒中的高熱k材料是包括高熱k材料或來自高熱k材料的壓實漿料的膠結性組合物。關於地層，設想了裂縫處的地層將具有至少300°C的溫度，和/或裂縫處在至少500公尺的深度。此外，設想了該管道包括絕熱返回管道，並且該管道與井筒中的高熱k材料耦合。

【0013】 在本申請的又一個方面，設想了一種增加熱到達增強結構的熱導率的方法，其包括將複數個第一高熱k顆粒與複數個第二高熱k顆粒組合的步驟。在進一步的步驟中，複數個第一高熱k顆粒與複數個第二高熱k顆粒使得（a）複數個第一高熱k顆粒形成彈性和塑性變形的第一塊體（first mass），以及（b）複



數個第二高熱k顆粒形成彈性變形的第二塊體（second mass）。在壓縮負載時，該第一塊體保持在互鎖的該些第二高熱k顆粒的網狀物的孔隙空間中，並且進一步設想了該些第一高熱k顆粒與該些第二高熱k顆粒在物理和/或化學上是不同的。關於顆粒的尺寸、形狀和類型，適用與上述相同的設想因素。

【0014】 同樣地，設想了一種在地層中產生熱到達增強結構的方法，其包括提供漿料的步驟，該漿料包括複數個第一高熱k顆粒和複數個第二高熱k顆粒，其中，該些第一高熱k顆粒和該些第二高熱k顆粒在化學和物理上是不同的。在另一步驟中，在高壓下在地層中產生複數個裂縫，並且在高壓下允許該漿料遷移到該些裂縫中。在進一步的步驟中，將高壓降低到足以實現該些第一高熱k顆粒的壓實，並且（優選地，在該些第一高熱k顆粒的塊體已經塑性變形的點）實現該些第二高熱k顆粒的互鎖。因此，在降低高壓的步驟之後，壓實的該些第一高熱k顆粒位於由互鎖的該些第二高熱k顆粒形成和維持的空間中。還可以使用具有不同粒度分佈和可能不同形狀的單一材料來實現防止裂縫中的流體流失的目標。

【0015】 最優選地，該漿料由本文提出的組合物製備，和/或降低高壓的步驟進行至少1或2小時。因此，在一些實施例中，由此形成的熱到達增強結構可以具有至少兩倍於該熱到達增強結構所在岩層的熱導率的熱導率。雖然不限制本申請，但設想了該地層是低滲透性地層。另外，設想了將管道熱耦合到該些裂縫，並且最典型地，該熱耦合包括將高熱k灌漿或漿料與壓實且互鎖的該些顆粒接觸。

【0016】 透過下面對優選實施例的詳細描述以及圖式，本申請的各種目的、特徵、方面和優點將變得更加明顯，圖式中相同的標號表示相同的部件。

**【圖式簡單說明】**

**【0017】** 圖1是具有本文提出的TRE的示例性井筒的示意圖，其中，TRE經由高熱k黏結材料或高熱k填料熱耦合至工作流體管道。

**【0018】** 圖2是描繪高熱k含碳材料的壓縮結果的示例性應力/應變圖。

**【0019】** 圖3是描繪組合物的熱導率作為固體含量的函數的示例性圖表。

**【實施方式】**

**【0020】** 閉環地熱系統的熱回收可以透過在地層中放置附加的鑽孔並透過用導熱材料填充這些鑽孔來增加。舉例而言，美國專利公告第8,616,000號描述了這樣的系統，其中，複數個附加孔從主鑽孔分支出來。容易理解的是，放置這種附加鑽孔的過程往往會使過程複雜化，增加鑽孔塌陷的風險，並且當導熱材料被放置到附加鑽孔中時，導熱材料中的殘留含水量通常會大大降低這種方法的導熱性和有效性。在另一種方法中，如美國專利公告第11,220,882號中所述，透過用隔離材料替換儲層流體（reservoir fluid）來重新完成現有的碳氫化合物生產井，將該隔離材料與相鄰儲層熱耦合，然後可以從相鄰儲層提取熱量。然而，在這種配置中不太可能實現用於能量生產的有效熱傳遞。

**【0021】** 在提高熱效率的其他方法中，TRE（熱到達增強）裂縫可以沿著井筒的長度放置，從而將熱量從周圍地層傳導到CLGS井筒。該些TRE 通常被配置為填滿高熱k固體顆粒材料的裂縫。該些TRE的創建可以透過使用石油和天然氣工業中使用的技術來實現，以提高碳氫化合物的產量，通常是透過使用液壓打開岩層中的裂縫，或利用現有的裂縫。舉例而言，裂縫可以用鐵注入水泥或具有

導熱顆粒的密封劑填充，如世界專利申請號WO 2022/018674中所公開的。不幸的是，尤其是在高溫位置，這種導熱材料將難以部署，並且在大多數情況下具有相對較低的熱導率。在進一步的示例中，如美國專利申請公開第2021/0396430號中所述，液體壓裂法是使用壓裂液（fracking fluid）在井筒中進行的，該壓裂液包括導熱係數對比至少為5的支撐劑顆粒。雖然概念上有吸引力，但是這樣的操作可能會出現各種困難。除其他問題外，該壓裂液中的任何殘留液體含量都會降低壓裂地層中的熱導率。

**【0022】** 雖然該些TRE的放置在概念上看起來相對簡單，但是仍然存在許多困難。最重要的是，該TRE漿料在壓力降低後從該些裂縫回流到鑽孔中是一個重大挑戰。最佳TRE性能需要在該些TRE裂縫中放置高熱k材料並保持該TRE的最大寬度，特別是在該TRE和井筒熱連接的井筒附近。容易理解的是，如果在放置之後發生高熱k材料的回流，則該TRE的有效性將完全喪失或大大降低。不幸的是，在低滲透性岩石的地層中，回流風險特別高。

**【0023】** 因此，儘管將TRE放置在CLGS中的各種組合物和方法在本領域中是已知的，但是它們全部或幾乎全部都存在若干缺點，因為當前已知的組合物和方法無法防止放置後高熱k材料的回流，特別是當它們被放置在低滲透性岩石中時。因此，仍然需要改進的TRE組合物和方法，其在放置後在該些裂縫中保留高熱k材料。

**【0024】** 公開了可與具有顯著改善的特性的TRE一起使用的各種組合物和方法，其允許部署和形成具有高導熱性的TRE，而不會在放置後遇到回流或擠出到井筒中，即使該些裂縫位於低滲透性地層中。為此，設想了一種、兩種或更

多種結構上（並且在許多情況下還有化學上）不同的高熱k顆粒的混合物將有利地產生尺寸穩定且導熱性高的混合網狀物。

【0025】 最典型地，該些第一高熱k顆粒由第一材料形成，並且具有形狀，使得該些第一高熱k顆粒的塊體（mass）在壓縮負載時發生彈性和塑性變形，而該些第二高熱k顆粒由第二材料形成，並且具有形狀，使得該些第二高熱k顆粒的塊體（mass）在壓實時僅發生彈性變形。因此，應當理解，在靜地應力（geostatic stress）對該混合物進行壓縮負載（compressional loading）時，該些第一高熱k顆粒的塊體符合裂縫的幾何形狀，從而形成導熱網狀物，然後由該些第二高熱k顆粒的網狀物（network）固定到位，進一步壓實後該些第二高熱k顆粒互鎖。從不同的角度來看，應當理解，可以使用彼此接合的該些第二高熱k顆粒與裂隙壁（fissure walls）之間的摩擦力來防止TRE組合物的回流或排出，同時透過第一高熱k材料的變形和壓縮，該些第一高熱k材料的可變形性將減少該些第二高熱k顆粒之間的孔隙空間內的孔隙率，從而形成壓縮且尺寸穩定的混合網狀物（hybrid network）。

【0026】 在本文中，應當特別認識到，嘗試解決與單一類型材料的回流和排出相關的問題將在所有或幾乎所有情況下導致不太令人滿意的結果和/或失敗的風險很高。更具體地，使用單一且更易變形（較軟）的材料，回流的風險非常高，因為此類材料無法在各個顆粒之間內部接合，也無法在外部與該些裂隙壁接合。另一方面，使用單一且明顯不易變形（較硬）的材料，此類材料將在各個顆粒之間內部接合，並且還將與該些裂隙壁外部接合，導致快速形成保留載體流體（通常是水）的孔隙空間，這反過來又顯著降低了熱導率。當較硬的材料具有相對窄的粒度分佈時尤其如此。

【0027】 相比之下，現在應當理解，透過以適當的比例和粒度分佈組合較軟、具延展性的顆粒材料（例如：石墨）和較硬的顆粒材料（例如：碳化矽），可以產生TRE，並用高熱k填充顆粒混合包（high-thermal-k filled particle hybrid pack）填充，該混合包在放置後不易回流，即使在低滲透性岩石中。放置後，TRE顆粒包（particle pack）穩定、抗擠壓且孔隙率低。在本文中，應當理解，優化單一脆性TRE顆粒組合物的粒度分佈可以改善熱導率，但未達到本文提出的混合組合物的程度。

【0028】 因此，並且更一般地，設想了一種在鄰近穿透高溫岩層的井筒處創建穩定 TRE的方法。舉例而言，這種方法可包括配製一種或多種高熱導率材料的TRE顆粒混合物的步驟，其粒度分佈和/或形狀被設計為允許緊密堆積以形成低孔隙率的填充床，其中至少一種成分具有足夠的機械強度和靜摩擦係數，以在TRE漿料就位後抵抗流動，並在壓力洩放後保持裂縫打開，從而留下靜止的、尺寸穩定的顆粒床。如將容易理解的，這種混合物將與載體流體配製為漿料，並且最典型地，這種漿料將形成可泵送流體（TRE漿料）。

【0029】 然後，將該可泵送的漿料注入鄰近高溫岩層的井中，並且施加足以在該岩層中產生裂縫的過量液壓。最典型地，繼續泵送該TRE漿料以擴大裂縫體積，並用該TRE漿料填充該裂縫體積。在進一步的步驟中，允許該TRE漿料失去載體流體，透過洩漏到地層和/或漿料沉降，以及緩慢、受控地排出分離的載體流體，導致裂縫中壓力降低，且導致裂縫閉合並壓縮TRE顆粒床，將其鎖定到位。容易理解的是，受控流體排出的速率必須足夠慢，以允許分離的載體流體回流，而不會在裂縫中產生足夠的壓差，以導致TRE顆粒流動。隨著時間的推移，載體流體的損失以及由此產生的TRE床周圍裂縫的閉合，留下了具有低孔隙率

及橋接和支撐網狀物的壓實混合TRE固體床，以保持尺寸穩定性和對顆粒運動的阻力。

【0030】 圖1示意性地示出了地層20內的示例性地熱井10，並且包括井筒12，井筒12包括位於井筒12和套管16之間形成的環形空間18中的導熱材料14A和14B（通常是灌漿或沉降顆粒）。舉例而言，導熱材料可以是或包括膠結材料（cementitious material），該膠結材料通常包括一種或多種導熱材料，例如：石墨粉、片狀石墨、熱解石墨、脫硫石油焦、石墨烯、飛灰、銅粉、氮化鋁、碳化矽及其組合。套管16最典型地是形成用於在其中的循環工作流體的連續迴路的結構的一部分，並且因此可以具有CLGS的管中管（tube-in-tube）配置。然而，可以包括或可以不包括熱交換器和/或熱交換散熱片的其他配置也被認為適合在本文中使用的。地熱井10將形成在地層20內。在各種實施例中，地層20包括複數個裂縫22，該些裂縫22至少部分地（且優選地基本上完全地）被複數個第一高熱k顆粒和複數個第二高熱k顆粒的混合物24填充。在CLGS的操作期間，該些第二高熱k顆粒的塊體（mass）是互鎖的，而該些第二高熱k顆粒的塊體沒有顯著變形，同時互鎖塊體中的孔隙空間被壓縮的該些第一高熱k顆粒的塊體（mass）填充。如將容易理解的，該些裂縫22中的高熱k混合物24與井筒12中的導熱材料14A/14B進行熱交換（並且在一些情況下甚至可以化學鍵結）。

【0031】 因此，應當理解，在一些實施例中，預期的熱到達增強組合物將包括至少兩種類型的顆粒，第一種類型具有薄片形狀並且容易變形以有利於壓實，如圖2的曲線圖中示例性所示，且第二類型具有更規則的形狀並堅固且具有磨蝕性以提供摩擦。因此，從不同的角度來看，預期的熱到達增強組合物將包括至少提供摩擦和尺寸穩定性的第一成分和至少允許壓實的第二成分，其中，該第

一成分和該第二成分將優選具有高熱導率。在這種情況下，應該注意的是，為了實現該TRE的高熱k，該TRE 漿料必須充分脫水，但還必須使用足夠的水來製造可注入該TRE的高熱k材料的可泵送漿料，正如它被創建的那樣。脫水導致TRE 材料包 (pack) 的熱k顯著增加，如圖3所示。脫水使該高熱k材料的固體濃度和該TRE中填料的合成熱k (resultant thermal k) 最大化。因此，應當理解，組合物的互鎖和壓縮不僅能夠使該些成分緊密包裝 (packing)，同時將該混合物保持在適當的位置，而且還允許從該漿料中除去水，從而使熱導率最大化。由於系統熱效率的提高，如此優化的熱導率將產生顯著的經濟效益，這意味著 GSL系統每個井的經濟價值更大。

【0032】 在一個示例性實施例中，熱到達增強組合物包括作為第一高熱k顆粒的石墨片和作為第二高熱k顆粒的碳化矽的混合物。最優選但非必須地，石墨片具有相對小的尺寸，通常最大尺寸在500奈米 (nm) 到500微米 (μm) 之間，最小尺寸在50nm到50μm之間，具有相對大的粒度分佈。碳化矽優選成形為平均直徑在約200μm至約2mm之間的基本上球形的顆粒，並且還進一步優選的是，顆粒具有跨越至多1個對數單位的相對均勻的粒度分佈。第一高熱k顆粒與第二高熱k顆粒之間的重量的比通常為約3:1。

【0033】 如將容易理解的，組合物中的第一高熱k顆粒將具有薄片形狀，而第二高熱k顆粒具有 (最典型地不規則的) 顆粒形狀。舉例而言，第二高熱k顆粒被成形為使得顆粒的任何二維的長寬比 (aspect ratio) 等於或小於10、或小於7、或小於5。從不同的角度來看，第一高熱k顆粒的塊體 (mass) 將在壓縮時彈性和塑性變形，第一高熱k顆粒由於低摩擦不會有顯著互鎖，而第二高熱k顆粒的塊體通常不會塑性變形，但由於高摩擦而在壓縮時互鎖，沒有第二高熱k顆粒的

塊體的顯著變形（例如：小於10%的體積變化，或小於5%的體積變化，或小於2%的體積變化）。

**【0034】** 關於第一高熱k顆粒和第二高熱k顆粒的熱導率，通常預期第一高熱k顆粒和/或第二高熱k顆粒的k值為至少2瓦特/每米克耳文（W/mK）、或至少4W/mK、或至少6W/mK、或至少8W/mK、或至少10W/mK、或至少20W/mK、或至少50W/mK、或至少100W/mK、或至少200W/mK，甚至更高。最典型地，第一高熱k顆粒和第二高熱k顆粒的k值將至少有些不同，其中，第一高熱k顆粒的k值和第二高熱k顆粒的k值具有n倍差異，其中，n在1.5與3.0之間，或在3.0與5.0之間。在優選的方面，第一高熱k顆粒的k值將大於第二高熱k顆粒的k值，或者主要（按重量計）高熱k顆粒的k值將大於少數（按重量計）高熱k顆粒的k值。然而，在至少一些方面，第二高熱k顆粒的k值將大於第一高熱k顆粒的k值，或者少數（按重量計）高熱k顆粒的k值將大於主要（按重量計）高熱k顆粒的k值。

**【0035】** 還應當理解的是，第一高熱k顆粒不必限於具有奈米或微米範圍（domain）內的尺寸以及薄板狀或薄片狀的石墨片，但是許多材料、形狀和尺寸也被認為是合適的，只要這些材料、尺寸和形狀具有低動摩擦和/或在壓縮力下緊湊或變形。舉例而言，並且在其他合適的選擇中，預期的替代性第一高熱k顆粒是含碳材料顆粒，例如：單壁和/或多壁碳奈米管、石墨烯、氧化石墨烯奈米片、石墨粉末、膨脹石墨、石墨片、熱解石墨、脫硫石油焦和/或飛灰。還進一步設想這些顆粒可以進一步化學改質以增強一個或多個參數，例如：均勻混合性、與地層的結合、膠結材料、金屬和/或金屬氧化物，並且典型的改質包括添加極性基，例如：羧酸基、羥基、酮基、硝基、硫酸酯基、環氧基等。舉例而言，此類改質化合物可包括微米或奈米結構的碳同素異形體和/或表面改質的煤。



【0036】 第一高熱k顆粒的合適尺寸包括最大尺寸為約10nm至50nm、或50nm至250nm、或250nm至1000nm、或1 $\mu$ m至20 $\mu$ m、或20 $\mu$ m至200 $\mu$ m、或200 $\mu$ m至750 $\mu$ m之間、或750 $\mu$ m至2000 $\mu$ m之間，甚至更大。此外，第一高熱k顆粒優選具有相對寬的粒度分佈。因此，預期的第一高熱k顆粒可具有跨越至少2.0個對數單位、或至少2.5個對數單位、甚至更寬的粒度分佈。

【0037】 同樣地，第二高熱k顆粒不必限於具有微米或毫米範圍內的尺寸和球形形狀的碳化矽，而是許多材料、形狀和尺寸也被認為是合適的，只要這些材料、尺寸和形狀具有高動摩擦和/或互鎖，在壓縮力下不會發生顯著變形。舉例而言，合適的第二高熱k顆粒包括金屬顆粒和/或金屬氧化物顆粒，例如：來自錫、鋁、銅、鐵、銀、金、鋁銅合金或銀鋁合金的顆粒，和/或來自二氧化矽、氧化鋁（alumina）、氧化鈹、氧化銅、氧化鋅、三氧化二鋁（aluminum oxide）、赤鐵礦、磁鐵礦和/或氧化錫的顆粒。在進一步設想的方面，合適的顆粒還包括來自重晶石、亞砷酸硼、氮化鋁和/或氮化矽的顆粒。

【0038】 第二高熱k顆粒的合適尺寸包括最大尺寸為約10 $\mu$ m至50 $\mu$ m、或50 $\mu$ m至200 $\mu$ m、或200 $\mu$ m至1000 $\mu$ m、或1mm至5mm、或2mm至10mm，甚至更大。另外，第二高熱k顆粒優選具有比第一高熱k顆粒更窄的粒度分佈。因此，預期的第二高熱k顆粒可具有跨越至多1個對數單位、或至多1.5個對數單位、或至多2個對數單位的粒度分佈。

【0039】 在又進一步設想的方面，第二高熱k顆粒的硬度顯著高於第一高熱k顆粒的硬度，並且根據莫氏硬度的測量，硬度差為至少1.0個單位、或至少2.0個單位、或至少2.5個單位、或至少3.0個單位（相對於形成第二高熱k顆粒的相應塊體材料）。從不同的角度來看，第二高熱k顆粒具有至少7的莫氏硬度。

【0040】 關於第一高熱k顆粒和第二高熱k顆粒的體積比，預期體積比可以顯著變化，並且第一顆粒和第二顆粒的類型和尺寸和/或熱到達增強結構的形狀將至少部分地確定體積比。然而，通常預期第一高熱k顆粒和第二高熱k顆粒以1:100至100:1之間的體積比存在於該組合物中。舉例而言，預期的組合物可包括1體積%至30體積%、或小於25體積%、或小於20體積%、或小於15體積%、或小於10體積%、或小於5體積%，但通常大於1體積%或大於2體積%或大於3體積%的第二高熱k顆粒。

【0041】 為了使用這樣的組合物作為TRE材料，預期可以使用水和/或任何其他流體從而產生漿料，並且最優選地產生可泵送漿料。在這種情況下，應該認識到，由於具有不同摩擦行為的材料的混合成分，因此生產的TRE漿料將比僅具有單一材料和相對窄的粒度分佈的漿料更容易混合和泵送。

【0042】 然後，這樣的漿料可以有利地用於在地層中具有高溫（通常至少200°C、或至少250°C、至少300°C、至少350°C、至少400°C、或至少450°C）以及至少500m、或至少1000m、或至少1500m、或至少2000m、或甚至更深的深度的位置處形成一種或多種TRE，如上文一般描述的。因此，一旦部署並形成TRE，就設想熱到達增強結構包括互鎖的第二高熱k顆粒的網狀物內的壓實的第一高熱k顆粒的網狀物，其中，第一高熱k顆粒和第二高熱k顆粒在物理和/或化學上是不同的，以及其中第一高熱k顆粒的網狀物和第二高熱k顆粒的網狀物設置在地層內的裂縫中，並且與高熱k材料和/或用於井筒中的工作流體的管道熱耦合。

【0043】 有利地，第一高熱k顆粒的網狀物和第二高熱k顆粒的網狀物的熱導率是該熱到達增強結構所在的岩層的熱導率的至少兩倍、或至少三倍、或至少五倍、或至少十倍、或至少二十倍。舉例而言，岩層的熱導率在最典型的示例中

可以在0.5W/mK至5W/mK之間，並且在一些示例中可以在5W/mK至7W/mK之間，並且在其他示例中可以在7W/mK至10W/mK之間。因此，所設想的第一高熱k顆粒的網狀物和第二高熱k顆粒的網狀物可具有至少4W/mK、或至少6W/mK、至少8W/mK、至少10W/mK、至少15W/mK、至少20W/mK、至少30W/mK、至少40W/mK、至少50W/mK、至少60 W/mK、至少70 W/mK、甚至更高的熱導率。舉例而言，所設想的第一高熱k顆粒的網狀物和第二高熱k顆粒的網狀物可以具有5W/mK至20W/mK之間、或10W/mK至30W/mK之間、或25W/mK至50W/mK、或40W/mK至75W/mK之間等的熱導率。舉例而言，這種傳導率可以由第一高熱k顆粒的網狀物和第二高熱k顆粒的網狀物的熱導率來確定，第一高熱k顆粒和第二高熱k顆粒是水飽和的並且在2000磅/平方英寸 (psi) 單軸應變有效應力下被壓實。

【0044】 此外，預期裂縫（包括TRE材料）從井筒延伸數倍的井筒半徑，例如：井筒半徑的至少兩倍、井筒半徑的至少四倍、井筒半徑的至少六倍、井筒半徑的至少八倍、井筒半徑的至少十倍、井筒半徑的至少二十倍、井筒半徑的至少五十倍，或甚至更長。因此，裂縫可以從井筒延伸高達5公尺 (m)、或高達10m、或高達25m、或高達50m、或高達100m，並且在一些情況下甚至更多。舉例而言，這種裂縫的長度可以根據裂縫口處的寬度和泵入裂縫中的TRE組合物的體積來確定。如將容易認識到的，這種具有TRE結構的井筒特別適合乾熱地層中的地熱回收和發電，其中管道將工作流體（例如：水）輸送到TRE區域，並且其中內部（優選地絕熱）返回管道用於排出加熱的工作流體。最典型地，該管道將位於井筒中，其中包括高熱k材料或來自高熱k材料的壓實漿料的膠結性組合物在該TRE和該管道之間形成熱橋（thermal bridge）。

【0045】 鑑於上述情況，設想了一種增加熱到達增強結構的熱導率的方法，其包括將複數個第一高熱k顆粒與複數個第二高熱k顆粒組合的步驟，其中，在壓縮該些第一高熱k顆粒與該些第二高熱k顆粒時，該些第一高熱k顆粒在由該些第二高熱k顆粒互鎖形成和維持的空間中進行壓縮，並且其中該些第一高熱k顆粒與該些第二高熱k顆粒在物理和/或化學上是不同的。

【0046】 因此，還設想了一種在地層中產生熱到達增強結構的方法，其包括提供漿料的步驟，該漿料包括複數個第一高熱k顆粒和複數個第二高熱k顆粒，其中，該些第一高熱k顆粒和該些第二高熱k顆粒在物理和/或化學上是不同的，並且漿料懸浮特性允許顆粒在靜態漿料中沉降，並且進一步的步驟是在高壓（elevated pressure）下在地層中產生複數個裂縫，並在該高壓下允許該漿料遷移到該些裂縫中，以及靜態漿料中的顆粒沉降/壓實。在又一個步驟中，透過提取從該漿料中分離出的水或其他流體來降低高壓，其量足以導致捕獲顆粒的裂縫閉合，並進一步擠出載體流體，以實現該些第一高熱k顆粒的壓實與實現該些第二高熱k顆粒的互鎖，使得該些第一高熱k顆粒被壓實在由互鎖的該些第二高熱k顆粒形成和維持的空間中。還應當注意的是，雖然實施例提及水作為用於製備漿料的流體，但本文也明確設想了許多其他流體，並且包括水溶液，該水溶液包括有機溶劑成分、有機溶劑和空氣或至少部分純化的氣體（二氧化碳、氮氣等）。

【0047】 當然，應當認識到，壓力降低和壓力降低的時間將取決於地層類型、裂縫的尺寸、數量和範圍等。因此，降壓可以進行1小時、或2小時或更短、或至少4小時、或至少6小時、或至少12小時、或至少24小時、或更長。然而，在一些實施例中，降壓的時間也可以為1分鐘至10分鐘、或10分鐘至30分鐘、或20分鐘至45分鐘。從不同的角度來看，降低高壓的步驟可以進行足以從壓實和互鎖

之前的漿料中去除至少50%、或至少60%、或至少70%、或至少80%、或至少85%、或至少90%的水或其他流體的時間。雖然不限制本申請，但預期地層是低滲透性地層。為了完成地層中的熱回收系統，預期熱耦合管道以將工作流體傳送至裂縫。如上所述，這種熱耦合通常透過將高熱k灌漿或漿料與壓實且互鎖的顆粒接觸來實現。

**【0048】** 各個方面

**【0049】** 透過閱讀以下編號的方面將更好地理解本申請，這些方面不應與請求項混淆。在一些情況下，在不脫離本申請的精神的情況下，下面描述的每個方面可以與其他方面組合，包括與本申請別處描述的其他方面或來自下面示例的其他方面組合。

**【0050】** 1. 一種熱到達增強組合物，其包括：複數個第一高熱k顆粒和複數個第二高熱k顆粒的一混合物，其中，該些第一高熱k顆粒和該些第二高熱k顆粒在物理和/或化學上是不同的；其中，該些第一高熱k顆粒由一第一材料形成，並且具有一形狀，使得該些第一高熱k顆粒的一塊體（mass）在壓縮負載時發生彈性和塑性變形；以及其中，該些第二高熱k顆粒由一第二材料形成，並且具有一形狀，使得該些第二高熱k顆粒的一塊體（mass）在壓實時僅發生彈性變形。

**【0051】** 2. 如方面1所述的組合物，其中，該些第一高熱k顆粒成形為薄片或薄板（platelets）。

**【0052】** 3. 如前述任一方面所述的組合物，其中，該些第一高熱k顆粒是微米或奈米尺寸的顆粒。

**【0053】** 4. 如前述任一方面所述的組合物，其中，該些第一高熱k顆粒是含碳材料顆粒。

【0054】 5. 如方面4所述的組合物，其中，該含碳材料是單壁和/或多壁碳奈米管、石墨烯、氧化石墨烯奈米片、石墨粉、膨脹石墨、石墨片、熱解石墨、脫硫石油焦、飛灰。

【0055】 6. 如方面4所述的組合物，其中，該含碳材料是表面改質的微米或奈米結構的碳同素異形體或表面改質的煤。

【0056】 7. 如前述任一方面所述的組合物，其中，該些第二高熱k顆粒成形為不規則形狀的顆粒，和/或其中該些第二高熱k顆粒成形使得顆粒的任何二維的長寬比（aspect ratio）等於或小於10。

【0057】 8. 如前述任一方面所述的組合物，其中，該些第二高熱k顆粒是微米和/或毫米尺寸的顆粒。

【0058】 9. 如前述任一方面所述的組合物，其中，該些第二高熱k顆粒具有跨越至多1個對數單位的粒度分佈。

【0059】 10. 如前述任一方面所述的組合物，其中，該些第二高熱k顆粒具有至少7的莫氏硬度。

【0060】 11. 如前述任一方面所述的組合物，其中，該些第二高熱k顆粒是金屬顆粒和/或金屬氧化物顆粒。

【0061】 12. 如方面11所述的組合物，其中，該些金屬顆粒中的金屬選自由錫、鋁、銅、鐵、銀、金、鋁銅合金或銀鋁合金組成的群組，和/或者其中該些金屬氧化物顆粒選自由二氧化矽、氧化鋁（alumina）、氧化鈹、氧化銅、氧化鋅、三氧化二鋁（aluminum oxide）、赤鐵礦、磁鐵礦和氧化錫組成的群組。

【0062】 13. 如前述任一方面所述的組合物，其中，該些第二高熱k顆粒是重晶石、亞砷酸硼、氮化鋁、氮化矽和/或碳化矽顆粒。

【0063】 14. 如前述任一方面所述的組合物，其中，該些第一高熱k顆粒和該些第二高熱k顆粒以1:100至100:1之間的重量比存在於該組合物中。

【0064】 15. 如前述任一方面所述的組合物，還包括足以產生一可泵送漿料的量的水，並且任選地還包括一分散劑、一塑化劑、一表面活性劑、一有機聚合物、一二氧化矽填料、氯化鈉（NaCl）或氯化鉀（KCl）或其他無機鹽中的一種或多種。

【0065】 15. 如方面15所述的組合物，其中，該高熱固體混合物以25固體體積%（vol% solids）至80固體體積%的體積比存在於該漿料中。

【0066】 16. 一種熱到達增強組合物，其包括複數個第一高熱k顆粒和複數個第二高熱k顆粒的一混合物，其中，該些第一高熱k顆粒和該些第二高熱k顆粒在物理上是不同的；其中，該些第一高熱k顆粒為片狀；並且其中該些第二高熱k顆粒具有（通常不規則的）顆粒形狀。

【0067】 17. 如方面16所述的組合物，其中，該些第一高熱k顆粒是微米或奈米尺寸的顆粒。

【0068】 18. 如方面16至17中任一方面所述的組合物，其中，該些第一高熱k顆粒是含碳材料顆粒。

【0069】 19. 如方面18所述的組合物，其中，該含碳材料是單壁和/或多壁碳奈米管、石墨烯、氧化石墨烯奈米片、石墨粉、膨脹石墨、石墨片、熱解石墨、脫硫石油焦、飛灰。

【0070】 20. 如方面18所述的組合物，其中，該含碳材料是表面改質的微米或奈米結構的碳同素異形體或表面改質的煤。

【0071】 21. 如方面16至20中任一方面所述的組合物，其中，該些第二高熱k顆粒是微米和/或毫米尺寸的顆粒。

【0072】 22. 如方面16至21中任一方面所述的組合物，其中，該些第二高熱k顆粒具有跨越至多1個對數單位的粒度分佈。

【0073】 23. 如方面16至22中任一方面所述的組合物，其中，該些第二高熱k顆粒具有至少7的莫氏硬度。

【0074】 24. 如方面16至23中任一方面所述的組合物，其中，該些第二高熱k顆粒是金屬顆粒和/或金屬氧化物顆粒。

【0075】 25. 如方面24所述的組合物，其中，該些金屬顆粒中的金屬選自由錫、鋁、銅、鐵、銀、金、鋁銅合金或銀鋁合金組成的群組，和/或者其中該些金屬氧化物顆粒選自由二氧化矽、氧化鋁（*alumina*）、氧化鈹、氧化銅、氧化鋅、三氧化二鋁（*aluminum oxide*）、赤鐵礦、磁鐵礦和氧化錫組成的群組。

【0076】 26. 如方面16至25中任一方面所述的組合物，其中，該些第二高熱k顆粒是重晶石、亞砷酸硼、氮化鋁、氮化矽和/或碳化矽顆粒。

【0077】 27. 如方面16至26中任一方面所述的組合物，其中，該些第一高熱k顆粒和該些第二高熱k顆粒以1:100至100:1之間的重量比存在於該組合物中。

【0078】 28. 如方面16至27中任一方面所述的組合物，還包括足以產生一可泵送漿料的量的水。

【0079】 29. 如方面16至28中任一方面所述的組合物，還包括一分散劑、一塑化劑、一表面活性劑、一有機聚合物、一二氧化矽填料、氯化鈉（*NaCl*）或氯化鉀（*KCl*）或其他無機鹽中的至少一種。



【0080】 29a. 如方面16至28中任一方面所述的組合物，其中，該高熱固體混合物以25固體體積% (vol% solids) 至80固體體積%的體積比存在於該漿料中。

【0081】 29b. 如方面16至28中任一方面所述的組合物，其中，該些第一高熱k顆粒是含碳材料顆粒，並且其中該些第二高熱k顆粒是重晶石、亞砷酸硼、氮化鋁、氮化矽和/或碳化矽顆粒。

【0082】 30. 一種熱到達增強結構，其包括壓實的複數個第一高熱k顆粒的一網狀物在壓實且互鎖 (interlocked) 的複數個第二高熱k顆粒的一網狀物內；其中，該些第一高熱k顆粒和第二高熱k顆粒在物理和/或化學上是不同的；以及其中，該些第一高熱k顆粒的該網狀物和該些第二高熱k顆粒的該網狀物設置在一地層內的一裂縫中，並且與一高熱k材料和/或用於一井筒中的一工作流體的一管道熱耦合。

【0083】 31. 如方面30所述的熱到達增強結構，其中，壓實的該些第一高熱k顆粒的該網狀物和互鎖的該些第二高熱k顆粒的該網狀物由方面1至29中任一方面所述的該組合物形成。

【0084】 32. 如方面30至31中任一方面所述的熱到達增強結構，其中，該些第一高熱k顆粒的該網狀物和該些第二高熱k顆粒的該網狀物的熱導率是該熱到達增強結構所在的一岩層的熱導率的至少兩倍。

【0085】 33. 如方面30至31中任一方面所述的熱到達增強結構，其中，該些第一高熱k顆粒的該網狀物和該些第二高熱k顆粒的該網狀物具有至少50W/mK的熱導率。

【0086】 34. 如方面30至33中任一方面所述的熱到達增強結構，其中，該裂縫從該井筒延伸至少該井筒的一半徑的至少八倍。

【0087】 35. 如方面30至33中任一方面所述的熱到達增強結構，其中，該裂縫從該井筒延伸長至少100公尺。

【0088】 36. 如方面30至35中任一方面所述的熱到達增強結構，其中，該井筒中的該高熱k材料是包括一高熱k材料或來自高熱k材料的一壓實漿料的一膠結性組合物。

【0089】 37. 如方面30至36中任一方面所述的熱到達增強結構，其中，該地層具有至少300°C的溫度。

【0090】 38. 如方面30至36中任一方面所述的熱到達增強結構，其中，該裂縫處在至少500公尺的深度。

【0091】 39. 如方面30至38中任一方面所述的熱到達增強結構，其中，該管道包括一絕熱返回管道（insulated return conduit），並且其中該管道與該井筒中的高熱k材料熱耦合。

【0092】 40. 一種使用熱到達增強結構來增加熱導率的方法，包括將複數個第一高熱k顆粒與複數個第二高熱k顆粒組合的步驟；壓實該些第一高熱k顆粒與該些第二高熱k顆粒，使得（a）該些第一高熱k顆粒形成彈性和塑性變形的第一塊體（first mass），以及（b）該些第二高熱k顆粒形成彈性變形的第二塊體（second mass）；其中，在壓縮負載時，該第一塊體保持在互鎖的該些第二高熱k顆粒的網狀物的孔隙空間中；以及其中，該些第一高熱k顆粒與該些第二高熱k顆粒在物理和/或化學上是不同的。

【0093】 41. 如方面40所述的方法，其中，該些第一高熱k顆粒成形為薄片或薄板（platelets）。

【0094】 42. 如方面40至41中任一方面所述的方法，其中，該些第一高熱k顆粒是微米或奈米尺寸的顆粒。

【0095】 43. 如方面40至42中任一方面所述的方法，其中，該些第一高熱k顆粒是含碳材料顆粒。

【0096】 44. 如方面43所述的方法，其中，該含碳材料是單壁和/或多壁碳奈米管、石墨烯、氧化石墨烯奈米片、石墨粉、膨脹石墨、石墨片、熱解石墨、脫硫石油焦、飛灰。

【0097】 45. 如方面43所述的方法，其中，該含碳材料是表面改質的微米或奈米結構的碳同素異形體或表面改質的煤。

【0098】 46. 如方面40至45中任一方面所述的方法，其中，該些第二高熱k顆粒成形為不規則形狀的顆粒，和/或其中該些第二高熱k顆粒成形使得顆粒的任何二維的長寬比（aspect ratio）等於或小於10。

【0099】 47. 如方面40至46中任一方面所述的方法，其中，該些第二高熱k顆粒是微米和/或毫米尺寸的顆粒。

【0100】 48. 如方面40至47中任一方面所述的方法，其中，該些第二高熱k顆粒具有跨越不超過1個對數單位的粒度分佈。

【0101】 49. 如方面40至48中任一方面所述的方法，其中，該些第二高熱k顆粒具有至少7的莫氏硬度。

【0102】 50. 如方面40至49中任一方面所述的方法，其中，該些第二高熱k顆粒是金屬顆粒和/或金屬氧化物顆粒。

【0103】 51. 如方面50所述的方法，其中，該些金屬顆粒中的金屬選自由錫、鋁、銅、鐵、銀、金、鋁銅合金或銀鋁合金組成的群組，和/或者其中該些金

屬氧化物顆粒選自由二氧化矽、氧化鋁（*alumina*）、氧化鈹、氧化銅、氧化鋅、三氧化二鋁（*aluminum oxide*）、赤鐵礦、磁鐵礦和氧化錫組成的群組。

【0104】 52. 如方面40至51中任一方面所述的方法，其中，該些第二高熱k顆粒是重晶石、亞砷酸硼、氮化鋁、氮化矽和/或碳化矽顆粒。

【0105】 53. 如方面40至52中任一方面所述的方法，其中，該些第一高熱k顆粒和該些第二高熱k顆粒以1:100至100:1之間的重量比存在於該組合物中。

【0106】 54. 一種在一地層中產生一熱到達增強結構的方法，包括：提供一漿料，該漿料包括水、複數個第一高熱k顆粒和複數個第二高熱k顆粒，其中，該些第一高熱k顆粒和該些第二高熱k顆粒在物理和/或化學上是不同的；在一高壓（*elevated pressure*）下在該地層中產生複數個裂縫，並且在該高壓下允許該漿料遷移到該些裂縫中；以及將該高壓降低到足以實現該些第一高熱k顆粒的壓實和實現該些第二高熱k顆粒的互鎖的量；其中，在降低該高壓的步驟之後，壓實的該些第一高熱k顆粒位於由互鎖的該些第二高熱k顆粒形成和維持的一空間中。

【0107】 55. 如方面54所述的方法，其中，該漿料由方面1至29中任一方面所述的組合物製備。

【0108】 56. 如方面54至55中任一方面所述的方法，其中，降低該高壓的步驟進行至少1小時。

【0109】 57. 如方面54至56中任一方面所述的方法，其中，該熱到達增強結構具有的熱導率是該熱到達增強結構位於其中的一岩層的熱導率的至少兩倍。

【0110】 58. 如方面54至57中任一方面所述的方法，其中，該地層是低滲透性地層。

【0111】 59. 如方面54至58中任一方面所述的方法，還包括將一管道熱耦合至該些裂縫的步驟。

【0112】 60. 如方面59所述的方法，其中，該熱耦合包括將一高熱k灌漿或漿料與壓實且互鎖的該些顆粒接觸。

【0113】 在一些方面，用於描述和要求保護本申請的某些方面的表示成分的量、性質（例如：濃度、反應條件等）的數字應被理解為在一些情況下被術語「約（about）」修飾。因此，在一些方面，在實施方式和所附申請專利範圍中闡述的數值參數是近似值，其可以根據特定方面尋求獲得的期望性質而變化。本文中數值範圍的列舉僅旨在用作單獨提及落入該範圍內的每個單獨值的速記方法。除非本文另有說明，否則每個單獨值均被併入說明書中，如同其在本文中單獨引用一樣。

【0114】 本文描述的所有方法可以以任何合適的順序執行，除非本文另外指示或另外與上下文明顯矛盾。關於本文的某些方面提供的任何和所有示例或示例性語言（例如：「諸如（such as）」）的使用僅旨在更好地闡明本申請，並且不對申請專利範圍構成限制。說明書中的任何語言均不應被解釋為指示任何未要求保護的元素是必需的。

【0115】 本文提到或引用的所有出版物、專利和專利申請均透過引用併入本文，以公開和描述與所引用的出版物、專利或專利申請相關的方法和/或材料。所有此類出版物、專利和專利申請均透過引用併入本文，如同每個單獨的出版物、專利或專利申請被具體且單獨地指示透過引用併入一樣。這種透過引用的併

入明確限於所引用的出版物、專利和專利申請中描述的方法和/或材料，並且不擴展到所引用的出版物、專利和專利申請中的任何詞典定義。所引用的出版物、專利和專利申請中的任何詞典定義，包括優先權請求項中的任何專利或專利申請中的任何詞典定義，如果在本說明書中也沒有明確重複，則不應被如此對待並且不應被解讀為定義所附申請專利範圍中出現的任何術語。本文討論的出版物、專利和專利申請僅因其在在本申請的提交日期之前的公開而提供。本文中的任何內容均不應被解釋為承認本申請無權憑藉先前的公開而早於該公開。此外，本文提供的發布日期可能與實際發布日期不同，這可能需要獨立確認。

**【0116】** 如本文所用術語「高熱k顆粒」是指由固體高熱k材料形成的顆粒，該固體高熱k材料的固有（體積）熱導率是放置該些顆粒的岩層的熱導率的至少兩倍，該岩層的熱導率在大多數情況下大於1W/mK且小於10W/mK。因此，高熱k顆粒可由具有至少10W/mK、或至少20W/mK、或至少50W/mK、或至少100W/mK、或至少150W/mK的熱導率的高熱k材料形成。舉例而言，在一些方面，該些高熱k顆粒可由具有約10W/mK至50W/mK之間、或約30W/mK至90W/mK之間、或約50W/mK至150W/mK之間、或約100W/mK至300W/mK之間、或約300W/mK至600W/mK之間的熱導率的高熱k材料形成，並且在一些情況下熱導率甚至更高。

**【0117】** 如本文的描述和所附申請專利範圍中所使用的「一個（a）」、「一個（an）」和「該（the）」的含義包括複數引用，除非上下文另有明確說明。此外，如本文的描述中所使用的「在.....中（in）」的含義包括「在.....中（in）」和「在.....上（on）」，除非上下文另有明確說明。還如本文所使用的，並且除非上下文另有規定，術語「耦合到（coupled to）」旨在包括直接耦合（其中兩個相互耦合的元

素相互接觸)和間接耦合(其中至少一個附加元素位於兩個元素之間)。因此，術語「耦合到(coupled to)」和「耦合於(coupled with)」同義地使用。

**【0118】** 本領域技術人員應當清楚，在不背離本文的發明構思的情況下，除了已經描述的那些之外，還可能進行更多的修改。因此，本申請的標的不受限制，除非在所附請求項的範圍內。此外，在解釋說明書和請求項時，應以與上下文一致的最廣泛方式解釋所有術語。特別地，術語「包括(comprises)」和「包括(comprising)」應解釋為以非排他的方式所指的元素、部件或步驟，表示所指的多種元素、部件或步驟可能存在、或被利用或與未明確引用的其他多種元素、部件或步驟組合。當說明書或請求項涉及從由A、B、C...和N組成的組合中選擇的至少一項時，該文本應解釋為僅需要該組合中的一個元素，而非A加N或B加N等。

#### **【符號說明】**

##### **【0119】**

10:地熱井

12:井筒

14B:導熱材料

16:套管

18:環形空間

20:地層

22:裂縫

24:混合物

**【發明申請專利範圍】**

113年3月29日修正本

**【請求項1】** 一種用於放置到地層的裂縫中的熱到達增強組合物，其包括：

複數個第一高熱 k 顆粒和複數個第二高熱 k 顆粒的一混合物，其中，該些第一高熱 k 顆粒和該些第二高熱 k 顆粒在物理和/或化學上是不同的；

其中，該些第一高熱 k 顆粒由一第一材料形成，並且具有一形狀，使得該些第一高熱 k 顆粒的一塊體 (mass) 在壓縮負載時發生彈性和塑性變形；

其中，該些第二高熱 k 顆粒由一第二材料形成，並且具有一形狀，使得該些第二高熱 k 顆粒的一塊體在該壓縮負載時僅發生彈性變形；以及

其中，在靜地應力對該混合物進行壓縮負載時，該些第一高熱 k 顆粒的塊體符合裂縫的幾何形狀，從而形成導熱網狀物，然後由該些第二高熱 k 顆粒的網狀物固定到位，進一步壓實後該些第二高熱 k 顆粒互鎖。

**【請求項2】** 如請求項1所述的組合物，其中，該些第一高熱 k 顆粒是微米或奈米尺寸的顆粒，和/或其中，該些第一高熱 k 顆粒成形為薄片或薄板 (platelets)。

**【請求項3】** 如請求項1所述的組合物，其中，該些第一高熱 k 顆粒是含碳材料顆粒。

**【請求項4】** 如請求項3所述的組合物，其中，該含碳材料是單壁和/或多壁碳奈米管、石墨烯、氧化石墨烯奈米片、石墨粉、膨脹石墨、



石墨片、熱解石墨、脫硫石油焦、飛灰，或其中，該含碳材料是表面改質的微米或奈米結構的碳同素異形體或表面改質的煤。

【請求項5】 如請求項1至4中任一項所述的組合物，其中，該些第二高熱k顆粒是微米和/或毫米尺寸的顆粒，和/或其中，該些第二高熱k顆粒是不規則形狀的，和/或其中，該些第二高熱k顆粒成形使得顆粒的任何二維的長寬比等於或小於10。

【請求項6】 如請求項1至4中任一項所述的組合物，其中，該些第二高熱k顆粒具有跨越至多1個對數單位的粒度分佈，和/或其中，該些第二高熱k顆粒具有至少7的莫氏硬度。

【請求項7】 如請求項1至4中任一項所述的組合物，其中，該些第二高熱k顆粒是金屬顆粒和/或金屬氧化物顆粒，任選地選自由錫、鋁、銅、鐵、銀、金、鋁銅合金和銀鋁合金組成的群組，和/或其中，該些金屬氧化物顆粒選自由二氧化矽、氧化鋁（alumina）、氧化鈹、氧化銅、氧化鋅、三氧化二鋁（aluminum oxide）、赤鐵礦、磁鐵礦和氧化錫組成的群組。

【請求項8】 如請求項1至4中任一項所述的組合物，其中，該些第二高熱k顆粒是重晶石、亞砷酸硼、氮化鋁、氮化矽和/或碳化矽顆粒。

【請求項9】 如請求項1至4中任一項所述的組合物，其中，該些第一高熱k顆粒和該些第二高熱k顆粒以1:100至100:1之間的體積比存在於該組合物中。

【請求項10】 如請求項1至4中任一項所述的組合物，還包括足以產生一可泵送漿料的量的水，並且任選地還包括一分散劑、一塑化劑、一表面活性劑、一有機聚合物、一二氧化矽填料、氯化鈉 (NaCl) 或氯化鉀 (KCl) 或其他無機鹽中的一種或多種。

【請求項11】 如請求項10所述的組合物，其中，該些高熱k顆粒的該混合物以25固體體積%(vol% solids)至80固體體積%的體積比存在於該漿料中。

【請求項12】 一種熱到達增強結構，其包括：

壓實的複數個第一高熱 k 顆粒的一網狀物在壓實且互鎖 (interlocked) 的複數個第二高熱 k 顆粒的一網狀物內；

其中，該些第一高熱 k 顆粒和第二高熱 k 顆粒在物理和/或化學上是不同的；以及

其中，該些第一高熱 k 顆粒的該網狀物和該些第二高熱 k 顆粒的該網狀物設置在一地層內的一裂縫中，並且與一高熱 k 材料和/或用於一井筒中的一工作流體的一管道熱耦合。

【請求項13】 如請求項12所述的熱到達增強結構，其中，壓實的該些第一高熱k顆粒的該網狀物和互鎖的該些第二高熱k顆粒的該網狀物由請求項1的該組合物形成。

【請求項14】 如請求項12所述的熱到達增強結構，其中，該些第一高熱k顆粒的該網狀物和該些第二高熱k顆粒的該網狀物的熱導率是該熱到達增強結構所在的一岩層的熱導率的至少兩倍，和/或者

其中，該些第一高熱k顆粒的該網狀物和該些第二高熱k顆粒的該網狀物具有至少50W/mK的熱導率。

【請求項15】如請求項12所述的熱到達增強結構，其中，該裂縫從該井筒延伸至少該井筒的一半徑的至少八倍，和/或其中，該裂縫從該井筒延伸高達100公尺。

【請求項16】如請求項12所述的熱到達增強結構，其中，該井筒中的該高熱k材料是包括一高熱k材料或來自高熱k材料的一壓實漿料的一膠結性組合物。

【請求項17】如請求項12所述的熱到達增強結構，其中，該地層具有至少300°C的溫度，和/或其中，該裂縫處在至少500公尺的深度。

【請求項18】一種在一地層中生成一熱到達增強結構的方法，其包括：

提供包括一流體、複數個第一高熱k顆粒和複數個第二高熱k顆粒的一漿料，其中，該些第一高熱k顆粒和該些第二高熱k顆粒在物理和/或化學上不同；

在一高壓（elevated pressure）下在該地層中產生複數個裂縫，並且在該高壓下允許該漿料遷移到該些裂縫中；以及

將該高壓降低到足以實現該些第一高熱k顆粒的壓實和實現該些第二高熱k顆粒的互鎖的量；以及

其中，在降低該高壓的步驟之後，壓實的該些第一高熱k顆粒位於由互鎖的該些第二高熱k顆粒形成和維持的一空間中。

【請求項19】如請求項18所述的方法，其中，該漿料由根據請求項1所述的組合物製備。

- 【請求項20】 如請求項18所述的方法，其中，降低該高壓的步驟進行至少1小時。
- 【請求項21】 如請求項18至20中任一項所述的方法，其中，該熱到達增強結構的熱導率是該熱到達增強結構所在一岩層的熱導率的至少兩倍。
- 【請求項22】 如請求項18至20中任一項所述的方法，其中，該地層是低滲透性地層。
- 【請求項23】 如請求項18至20中任一項所述的方法，還包括將一管道熱耦合至該些裂縫的步驟，其中，該熱耦合包括將一高熱k灌漿或漿料與壓實且互鎖的該些顆粒接觸。
- 【請求項24】 如請求項18至20中任一項所述的方法，其中，該流體為水。
- 【請求項25】 如請求項18至20中任一項所述的方法，其中，該流體為空氣。

【發明圖式】

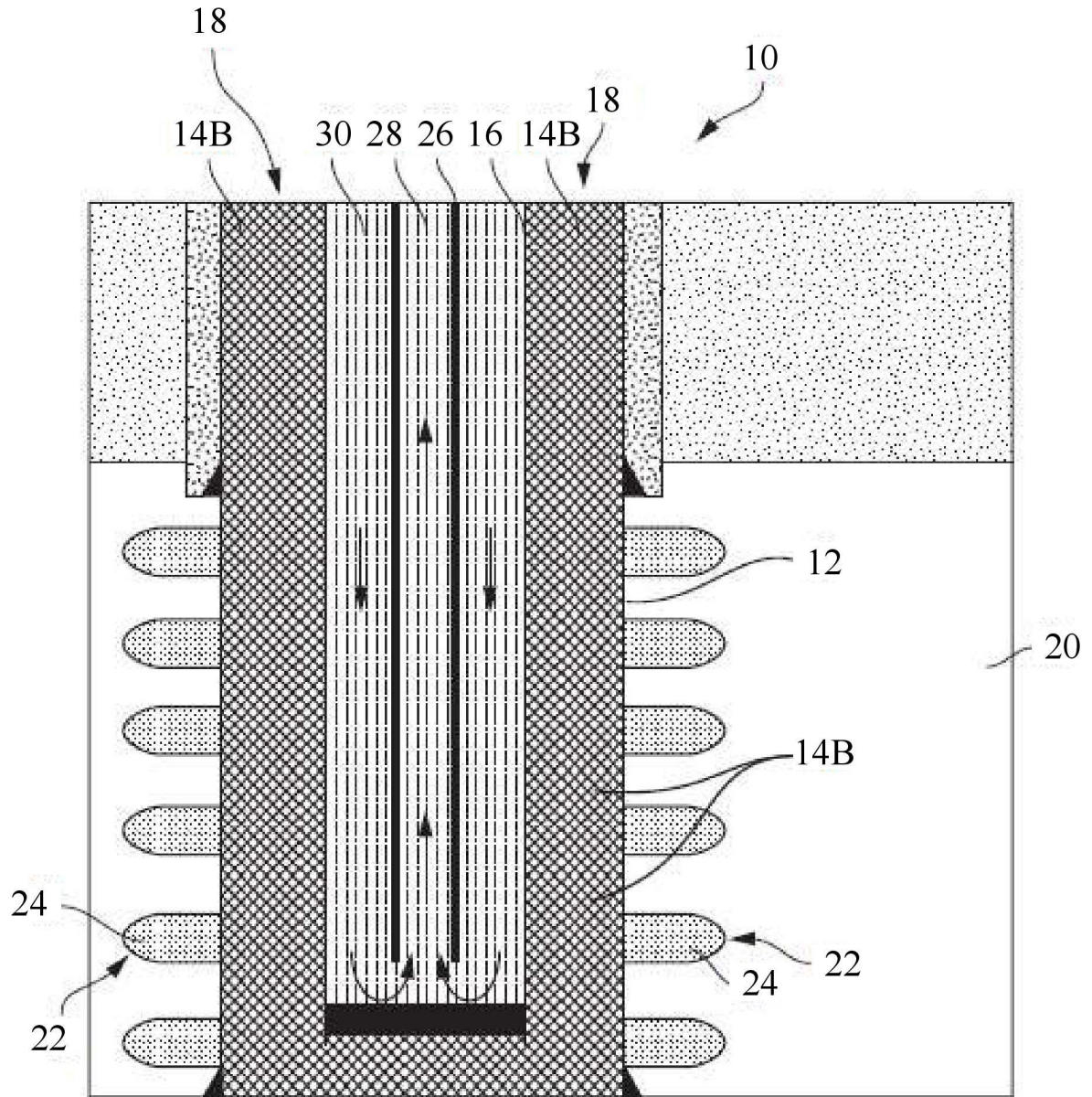


圖 1

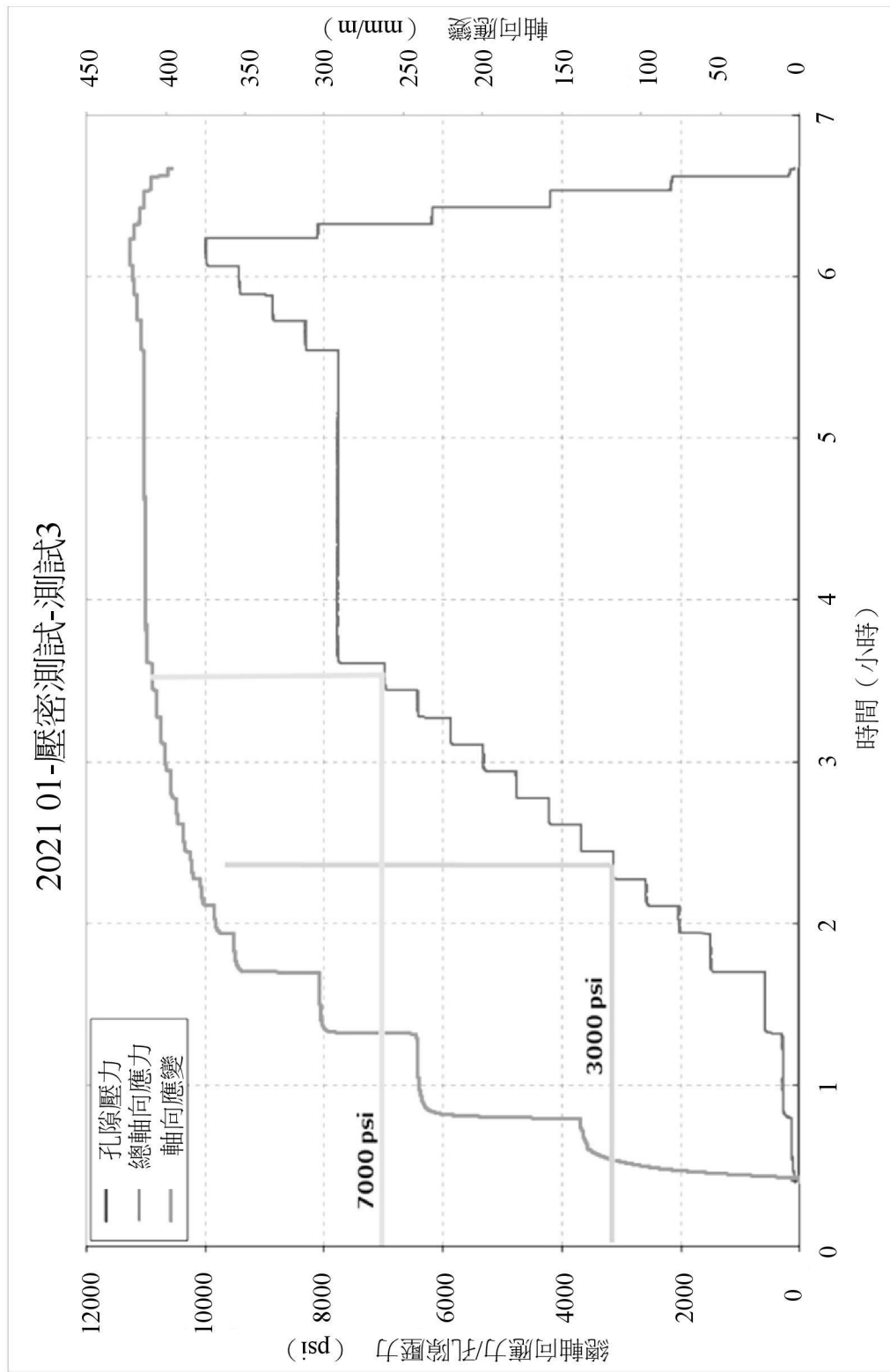


圖 2

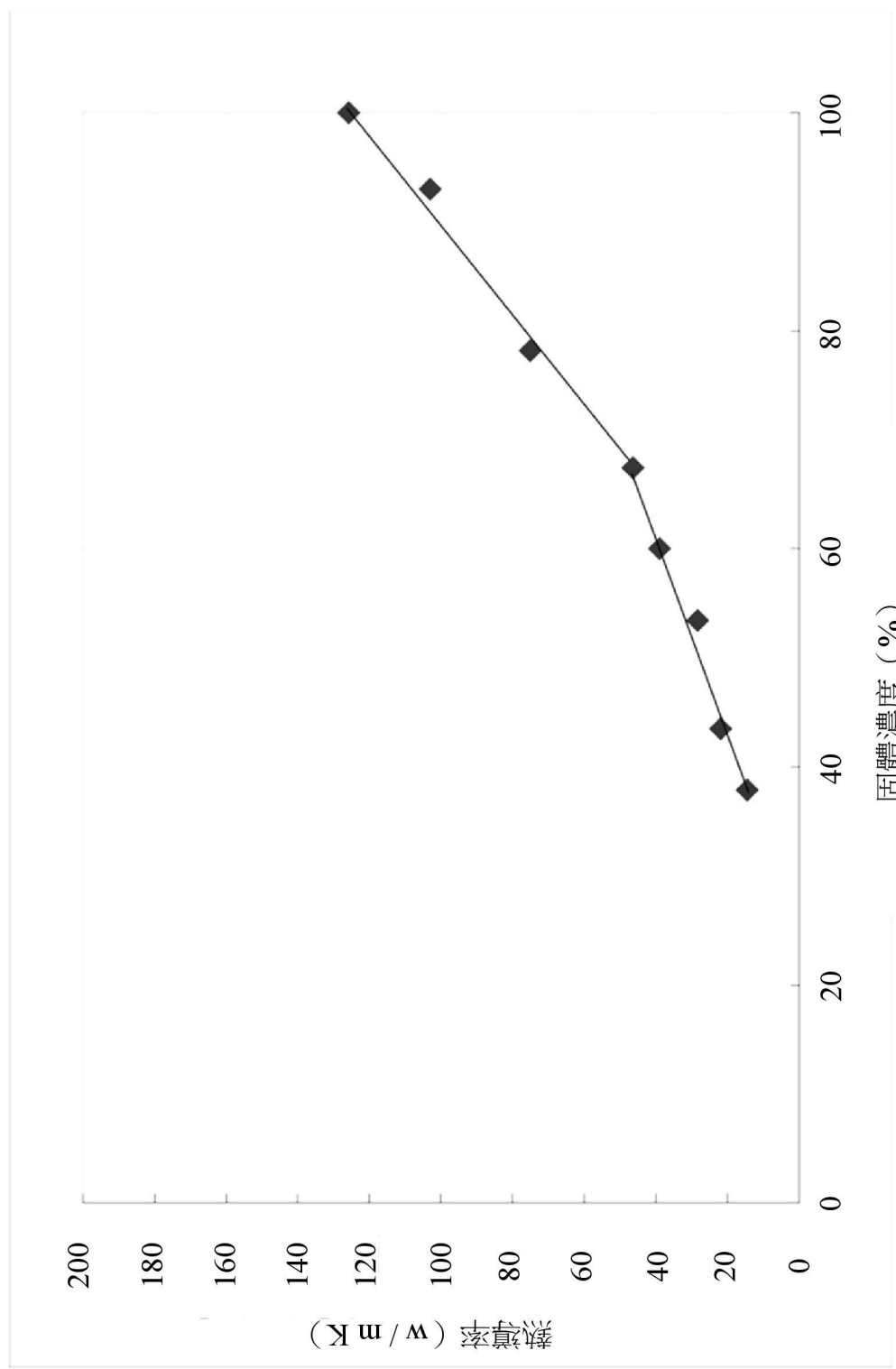


圖 3