202201429

(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 202201429 A

(43)公開日： 中華民國 111 (2022) 年 01 月 01 日

(21)申請案號：110120216 (22)申請日： 中華民國 110 (2021) 年 06 月 03 日

(51)Int. Cl.： *G21C19/02 (2006.01)* *B25J11/00 (2006.01)*

(30)優先權：2020/06/03 美國 16/891,423

(71)申請人：美商西屋電器公司 (美國) WESTINGHOUSE ELECTRIC COMPANY LLC (US)
美國

(72)發明人：佩卓斯基 利曼 J PETROSKY, LYMAN J. (US)

(74)代理人：陳長文

申請實體審查：有 申請專利範圍項數：20 項 圖式數：9 共 43 頁

(54)名稱

用來操縱及維修熱交換器的關節式機械手臂

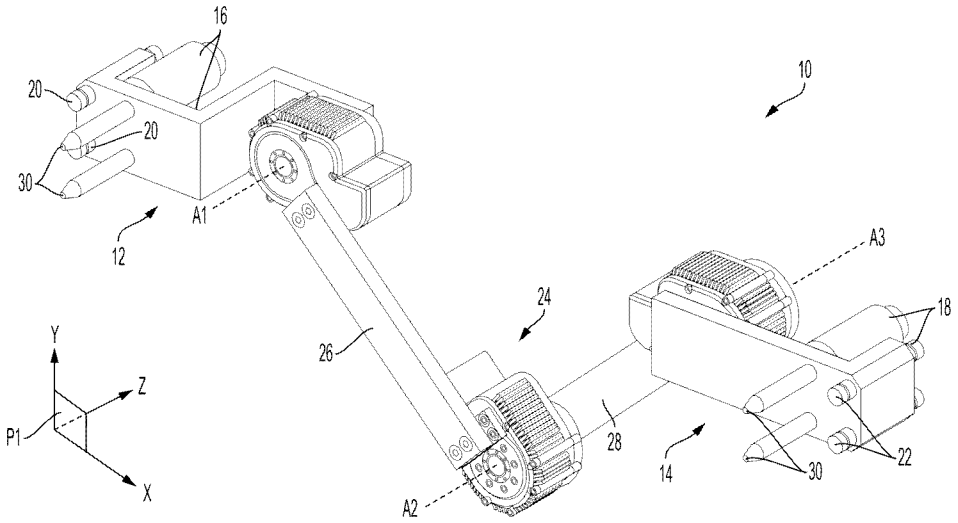
(57)摘要

本文揭示一種經組構來操縱包括複數個延伸穿過管板之管之熱交換器的機械手臂，該機械手臂包括第一端接器、第二端接器、及關節總成。第一端接器係經組構成接納經組構來維修熱交換器之儀器且包括經組構成將第一夾持器延伸至複數個管之一個管中的第一致動器。第二端接器包括經組構成將第二夾持器延伸至複數個管之一個管中的第二致動器。第一及第二夾持器係經組構成將機械手臂緊固至管板，且當第二夾持器將機械手臂緊固至管板時，關節總成係經組構成使得第一端接器能夠在平行於管板之平面中相對於第二端接器移動。

A manipulator configured to navigate a heat exchanger including a plurality of tubes extending through a tubesheet is disclosed herein, the manipulator including a first end effector, a second end effector, and an articulation assembly. The first end effector is configured to accommodate an instrument configured to service the heat exchanger and includes a first actuator configured to extend a first gripper into a tube of the plurality of tubes. The second end effector includes a second actuator configured to extend a second gripper into a tube of the plurality of tubes. The first and second gripper are configured to secure the manipulator to the tubesheet, and, when the second gripper is securing the manipulator to the tubesheet, the articulation assembly is configured to enable the first end effector to move relative to the second end effector in a plane that is parallel to the tubesheet.

指定代表圖：

TW 202201429 A



【圖1】

符號簡單說明：

10:關節式機械手臂

12:第一端接器

14:第二端接器

16:第一對致動器

18:第二對致動器

20:第一對導管

22:第二對導管

24:關節系統；關節總成

26:第一連桿

28:第二連桿

30:夾持器

A1:第一軸

A2:第二軸

A3:第三軸

P1:平面

【發明摘要】

【中文發明名稱】　用來操縱及維修熱交換器的關節式機械手臂

【英文發明名稱】　ARTICULATED MANIPULATOR FOR NAVIGATING AND SERVICING A HEAT EXCHANGER

【中文】

本文揭示一種經組構來操縱包括複數個延伸穿過管板之管之熱交換器的機械手臂，該機械手臂包括第一端接器、第二端接器、及關節總成。第一端接器係經組構成接納經組構來維修熱交換器之儀器且包括經組構成將第一夾持器延伸至複數個管之一個管中的第一致動器。第二端接器包括經組構成將第二夾持器延伸至複數個管之一個管中的第二致動器。第一及第二夾持器係經組構成將機械手臂緊固至管板，且當第二夾持器將機械手臂緊固至管板時，關節總成係經組構成使得第一端接器能夠在平行於管板之平面中相對於第二端接器移動。

【英文】

A manipulator configured to navigate a heat exchanger including a plurality of tubes extending through a tubesheet is disclosed herein, the manipulator including a first end effector, a second end effector, and an articulation assembly. The first end effector is configured to accommodate an instrument configured to service the heat exchanger and includes a first actuator configured to extend a first gripper into a tube of the plurality of tubes. The second end effector includes a second actuator configured to extend a second gripper into a tube of the plurality of tubes. The first and second gripper are configured to

secure the manipulator to the tubesheet, and, when the second gripper is securing the manipulator to the tubesheet, the articulation assembly is configured to enable the first end effector to move relative to the second end effector in a plane that is parallel to the tubesheet.

【指定代表圖】　　圖 1

【代表圖之符號簡單說明】

10:關節式機械手臂

12:第一端接器

14:第二端接器

16:第一對致動器

18:第二對致動器

20:第一對導管

22:第二對導管

24:關節系統；關節總成

26:第一連桿

28:第二連桿

30:夾持器

A1:第一軸

A2:第二軸

A3:第三軸

P1:平面

【發明說明書】

【中文發明名稱】　用來操縱及維修熱交換器的關節式機械手臂

【英文發明名稱】　ARTICULATED MANIPULATOR FOR NAVIGATING AND SERVICING A HEAT EXCHANGER

【技術領域】

【0001】 本揭示大致係關於核能發電廠，及更特定言之係關於一種經組構成在核子蒸汽產生器內操縱、及維修熱交換器的關節式機器人裝置。

【先前技術】

【0002】

【發明內容】

【0003】 提供以下發明內容以幫助瞭解本文所揭示之態樣的一些創新特徵，且不意圖進行完整描述。從全份說明書、申請專利範圍、及發明摘要的整體可獲得對各種態樣的全面性理解。

【0004】 在各種態樣中，揭示一種經組構成操縱包括複數個延伸穿過管板之管之熱交換器的機械手臂。該機械手臂包括經組構成接納經組構來維修熱交換器之儀器的第一端接器，其中該第一端接器包括耦接至第一夾持器之第一致動器，其中該第一致動器係經組構成將該第一夾持器延伸至該複數個管的一個管中，且其中該第一夾持器係經組構成將該機械手臂緊固至該管板。該機械手臂亦包括第二端接器，其包括耦接至第二夾持器之第二致動器，其中該第二致動器係經組構成延伸至該複數個管的一個管中，且其中該第二夾持器係經組構成將該機械手臂緊固至該管板。該機械手臂亦包括關節總成，其包括第一連桿及第二連桿，其中該

第一連桿係樞轉連接至該第一端接器且可繞第一軸旋轉，其中該第一連桿係樞轉連接至該第二連桿且可繞第二軸旋轉，且其中該第二連桿係樞轉連接至該第二端接器且可繞第三軸旋轉。當該第二夾持器將該機械手臂緊固至該管板時，該關節總成經組構成使得該第一端接器能夠在平行於該管板之平面中相對於該第二端接器移動。

【0005】 在各種態樣中，揭示一種經組構來維修包括複數個延伸穿過管板之管之熱交換器的系統。該系統包括機械手臂，該機械手臂包括經組構成接納經組構來維修該熱交換器之儀器的第一端接器，其中該第一端接器包括耦接至第一夾持器之第一致動器，其中該第一致動器係經組構成將該第一夾持器延伸至該複數個管的一個管中，且其中該第一夾持器係經組構成將該機械手臂緊固至該管板；第二端接器，其包括耦接至第二夾持器之第二致動器，其中該第二致動器係經組構成延伸至該複數個管的一個管中，且其中該第二夾持器係經組構成將該機械手臂緊固至該管板；及關節總成，其包括第一連桿、第二連桿、及三個節點軸馬達，其中該第一連桿係樞轉連接至該第一端接器且可繞第一軸旋轉，其中該第一連桿係樞轉連接至該第二連桿且可繞第二軸旋轉，且其中該第二連桿係樞轉連接至該第二端接器且可繞第三軸旋轉。該系統進一步包括耦接至該第一端接器、該第二端接器、及該關節總成之控制電路，其中控制電路係經組構成基於指令命令該馬達在平行於該管板之平面中相對於該第二端接器移動該第一端接器。

【0006】 在各種態樣中，揭示一種維修包括複數個延伸穿過管板之管之熱交換器的方法。該方法採用機械手臂，該機械手臂包括經組構成接納經組構來維修該熱交換器之儀器的第一端接器，其中該第一端接器包括經組構成使第一夾持器延伸至該複數個管之一個管中的第一致動器；

經組構成接納經組構來維修該熱交換器之儀器的第二端接器，其中該第二端接器包括經組構成使第二夾持器延伸至該複數個管之一個管中的第二致動器；及關節總成，其包括第一連桿、第二連桿、及經組構成使該第一端接器在平行於該管板之平面中相對於該第二端接器移動的馬達，其中該等第一夾持器及第二夾持器係經組構成將該機械手臂緊固至該管板。該方法包括使該第二夾持器延伸至該複數個管之一個管中，藉由該第二夾持器將該機械手臂緊固至該管板，藉由該等馬達使該第一端接器在平行於該管板之平面中相對於該第二端接器移動，直至該第一端接器到達第一期望位置；及藉由該第一儀器維修在該第一期望位置處之該熱交換器。

【0007】 通過考慮以下為全部形成本說明書之一部分的實施方式和所附申請專利範圍且參考附圖，將變得更明白本發明的這些及其他目的、特性和特徵以及結構相關元件的操作方法和功能及部件組合和製造經濟性，其中相同參考數字代表各圖中的對應部件。然而，應明確瞭解，圖式僅為了說明和描述的目的，且無意圖定義本發明的多個限制。

【圖式簡單說明】

【0008】 隨後所附申請專利範圍中特別闡述本說明書所述態樣的各種特徵。然而，根據以下結合如下附圖的實施方式可瞭解組織和操作方法的各種態樣、以及其優點：

【0009】 圖 1 繪示根據本揭示之至少一非限制性態樣經組構來維修核能發電廠之熱交換器之關節式裝置的等角視圖。

【0010】 圖 2 繪示圖 1 之關節式機械手臂的平面圖。

【0011】 圖 3 繪示圖 1 之關節式機械手臂的立視圖。

【0012】 圖 4 繪示沿圖 2 之線 4-4 的截面圖。

【0013】 圖 5 繪示沿圖 2 之線 5-5 的截面圖。

【0014】 圖 6 繪示將圖 1 之關節式機械手臂緊固至核能發電廠之熱交換器之管板之夾持器的立視圖。

【0015】 圖 7 繪示根據本揭示之至少一非限制性態樣沿圖 6 之線 7-7 的截面圖。

【0016】 圖 8 繪示根據本揭示之第二非限制性態樣沿圖 6 之線 7-7 的截面圖。

【0017】 圖 9 係圖 8 中繪示之夾持器之夾爪區域的放大圖。

【0018】 對應參考字符表示在所有圖式中的對應部件。本說明書闡述的示例係採用一形式以說明本發明的各種態樣，且這些示例不應被詮釋為以任何方式限制本發明的範疇。

【實施方式】

【0019】 闡述許多特定細節以提供對本揭示所說明及附圖中所繪示之態樣之整體結構、功能、製造、及使用的徹底理解。未詳細描述熟知的操作、組件、及元件，以不致模糊說明於說明書中的態樣。讀者將理解文中說明及繪示之態樣係非限制性實例，及因此可明瞭文中揭示的特定結構及功能細節可係代表性及說明性的。可對其進行變化及改變而不脫離申請專利範圍之範疇。此外，應瞭解，諸如「向前」、「向後」、「左」、「右」、「向上」、「向下」等用語為方便用語，而不應被詮釋為限制性用語。此外，應瞭解，諸如「向前」、「向後」、「左」、「右」、「向上」、「向下」等用語為方便用語，而不應被詮釋為限制性用語。

【0020】 在以下描述中，在圖式的若干視圖中，相同參考字符代表類似或對應的部件。同樣在以下描述中，應瞭解，諸如「向前」、「向後」、「左」、「右」、「向上」、「向下」等用語為方便用語，而不應被詮釋

為限制性用語。

【0021】 在詳細解釋關節式機械手臂的各種態樣之前，應注意，說明性實例在應用或使用上不限於附圖和實施方式中所說明部件的構造和配置之細節。示意性範例可實施或併入在其他態樣、變型和修改中，並可用各種方式實踐或實現。此外，除非特別指出，否則本說明書所使用的術語和表達是為了方便讀者閱讀來描述示意性範例之目的而選擇，而不是為了對其限制。而且，將明白，以下所述態樣、態樣的表達及/或範例之任何一或多者可結合其他以下所述態樣、態樣的表達及/或範例之任何一或多者。

【0022】 本揭示係關於經組構來操縱及維修任何具有平面管板之熱交換器的關節式機械手臂。許多機械系統，諸如核能發電機，仰賴有效散熱。舉例來說，在壓水式反應器中，由核反應所產生之熱可被循環通過反應器核心且被利用來在蒸汽產生器中產生蒸汽的主要冷卻劑吸收。蒸汽產生器可經組構成為具有半球形端部區段的直立式圓柱形壓力容器。一位於圓柱形區段之下部端之稱為管板的橫板可將蒸汽產生器分割為主要側、或在管板下方的下部半球形區段，及次要側 - 位於管板上方的對應區段。一垂直壁可將主要側平分為入口區段及出口區段。管板可包括厚的碳鋼板，其具有數千個 U 形管之末端插入其中之孔洞的陣列。各 U 形管之第一端可插入至位於與入口區段相通之管板之主要側內的孔洞中。U 形管之第二端可插入至位於與出口區段相通之管板內的孔洞中。因此，冷卻劑可經加壓及引入至入口區段中，循環通過 U 形管，及通過出口區段離開。另外，可將水引入至蒸汽產生器之次要側的類似組構中，環繞 U 形管循環，藉由由主要冷卻劑所釋放之熱轉變為蒸汽。雖然本揭示描述可使用關節式機械手臂來維修核能發電廠內之熱交換器的態樣，但該等態

樣僅係例示性的。因此，當明瞭關節式機械手臂可經實施來操縱及維修任何具有平面管板的熱交換器。

【0023】 在一段時間內可在 U 形管的材料內發生降解。此係不期望的，因為主要冷卻劑為放射性且任何冷卻劑之洩漏至產生器之第二側中皆會污染蒸汽。由於存在於核動力蒸汽產生器中的輻射危險，因此較佳遠端檢查及/或維修 U 形管來使人員不利暴露的風險減至最小。因此，已開發許多機器人系統來檢查及/或維修熱交換器管的該等組構。該等機器人系統可包括經組構成將機器人之「端接器」定位於機械系統之期望位置(諸如熱交換器)的電動化運輸子系統。端接器可配備有各種經設計來維修機械系統的特殊工具，藉此減輕前述人員暴露的風險。

【0024】 一種該機器人揭示於美國專利第 7,314,343 號中，其揭示內容以全文引用的方式併入本文。另一經組構來維修熱交換器的機器人手臂係由位於賓州匹茲堡 (Pittsburgh, Pa) 之西屋電器公司 (Westinghouse Electric Corporation)所開發的 ROSA(遠端操作維修手臂(Remotely Operated Service Arm))。然而，隨熱交換器技術的發展，可改良已知機器人的多樣性及效率。管尺寸愈來愈小，各種熱交換器設計，進而管板組構，已被開發及實施供特定應用。例如，一般使用方形及三角形間距的管板組構，其對跨越各種系統通用實施的已知機器人產生困難。製造缺陷亦可阻礙已知機器人維修管板，從而需要人工重定位並增加人類暴露至潛在有害輻射的風險。另外，由於該等熱交換器中所涉及之管的複雜及廣大網絡，因此時間可能係最佳化該等系統之維修的要素。因此，需要一種具有經改良的關節及幾何多樣性的機械手臂。此一機械手臂應包括能夠穿越不同組構之熱交換器，不用人工干預而避免無可避免的製造缺陷，及歸因於其經改良的動作範圍而有效率地維修管板的關節系

統。

【0025】 現參照圖 1，其繪示根據本揭示之至少一非限制性態樣之關節式機械手臂 10 的等角視圖。如將作說明，機械手臂 10 係經特定組構以有效率地操縱及維修任何具有平面管板的熱交換器。舉例來說，可使用圖 1 之機械手臂 10 來維修核能發電系統的熱交換器，及更明確言之，包含複數個管之熱交換器的管板。如文中所使用，術語「維修」應廣義地解釋為描述與核能發電相關聯的各種程序。舉例來說，機械手臂 10 可經特定組構來檢查管板，使用相當多樣的非破壞性測試方法，包括但不限於渦電流測試(Eddy Current Testing)。另外及/或替代地，機械手臂 10 可經特定組構來對熱交換器的管板進行任何數目的維護操作。雖然文中描述之態樣係特定關於經組構來維修終止於熱交換器之管板中之管的機械手臂 10，但應明瞭，在其他非限制性態樣中，機械手臂 10 可類似地佈署於利用具有平面管板之熱交換器的各種其他系統中，而不限於核能發電廠。

【0026】 根據圖 1 之非限制性態樣，機械手臂 10 可包括第一端接器 12 及第二端接器 14。第一對致動器 16 及第一對導管 20 可耦接至第一端接器 12，及第二對致動器 18 及第二對導管 22 可耦接至第二端接器 14。導管 20、22 可經組構來接納經組構以維修熱交換器的儀器。然而，在其他非限制性態樣中，端接器 12、14 可經組構成不使用導管 20、22 而接納經組構來維修熱交換器的儀器。舉例來說，儀器可透過機械耦接直接附接至端接器 12、14。或者，端接器 12、14 可包括用來可替換地接納各式各樣儀器的模組連接器。替代地及/或另外，機械手臂 10 可經模組組構，使得端接器 12、14 本身可經可替換地移除並根據預期應用及/或使用者偏好來附接。端接器 12、14 可包括不同的夾持器、儀器、及/或儀

器組構，且可經交換以完成各式各樣的任務。

【0027】 圖 1 之機械手臂 10 亦包括關節系統 24，其包括分別樞轉連接至第一端接器 12 及第二端接器 14 的第一連桿 26 及第二連桿 28。雖然圖 1 之非限制性態樣描繪具有兩個端接器 12、14，其各具有一對致動器 16、18 及一對導管 20、22 的關節式機械手臂 10，但在其他非限制性態樣中，機械手臂包括經組構成具有任何數目之致動器及/或導管之任何數目的端接器，視裝置之特定實施的需要而定。

【0028】 進一步參考圖 1，第一端接器 12 及第二端接器 14 各具有經組構成相對於端接器本身延伸及縮回的一對致動器 16、18。在一些態樣中，一或多個致動器可經裝備有經組構來將機械手臂 10 緊固至管板的夾持器。舉例來說，在圖 1 之非限制性態樣中，第一致動器 16 及第二致動器 18 各具有經組構成插入至管板之孔洞中的夾持器 30。如將更詳細地說明，各個夾持器 30 可隨後沿垂直於延伸及/或縮回軸延伸之橫軸 L(圖 2)移動，直至至少一個夾持器 30 與孔洞之內壁接觸為止。在圖 1 之非限制性態樣中，第一對致動器 16 之各者及第二對致動器 18 之各者可包括夾持器 30，其於延伸及插入至管板之孔洞中後可橫向移動。舉例來說，端接器 12、14 之各個夾持器 30 可朝向彼此移動，直至其接觸並於其各別孔洞之內壁上施加向內壓力為止。替代地及/或另外，各端接器 12、14 之夾持器 30 可遠離彼此橫向移動，直至其接觸並於其各別孔洞之內壁上施加向外壓力為止。因此，透過於夾持器 30 與內壁之間使用施加壓力及/或摩擦，機械手臂 10 之端接器 12、14 中的至少一者可錨固至管板。本揭示考慮具有致動器 18、20 及夾持器 30 之不同組構，來視特定應用需求及/或使用者偏好以特定方式夾持管板的多個態樣。

【0029】 仍參照圖 1，機械手臂 10 可經組構使得一旦第二端接器

14 錨固至管板，則第一端接器 12 便經由關節系統 24 移動至定位。舉例來說，圖 1 之關節系統 24 包括樞轉連接至第一端接器 12 之第一連桿 26 及繼而樞轉連接至第二端接器 14 之第二連桿 28。因此，第一連桿 26 可繞第一軸 A1 相對於第一端接器 12 旋轉，第一連桿 26 及第二連桿 28 可繞第二軸 A2 相對於另一者旋轉，及第二連桿 28 可繞第三軸 A3 相對於第二端接器 14 旋轉。因此，關節總成 24 可視哪個端接器錨固至管板，而使得第一端接器 12 及/或第二端接器 14 能夠於期望平面內的寬廣座標陣列之間移動。

【0030】 舉例來說，當第二端接器 14 之第二對制動器 18 夾持管板時，圖 1 之關節總成 24 可使得第一端接器 12 能夠繞第一軸 A1 旋轉及第一連桿 26 能夠繞第二軸 A2 旋轉，使得機械手臂 10 可在由 X 及 Y 軸所界定之平面 P1 內的任何位置移動。在圖 1 之非限制性態樣中，平面 P1 係平行於管板，及第一端接器 12 及/或第二端接器 14 可重定位至平面 P1 內的任何期望 X、Y 座標。雖然關節總成 24 包括第一連桿 26 及第二連桿 28 及三個軸 A1、A2、A3，但在本揭示所考慮的其他非限制性態樣中，機械手臂 10 之關節總成 24 可包括任何數目的連桿及軸以針對各種應用及/或使用者偏好特定定製。機械手臂 10 之關節總成 24 可相較於具有較少動作軸之現有機械手臂提供改良的動作範圍。另外及/或替代地，關節總成 24 可容許圖 1 之機械手臂 10 使用較少動作在坐標之間穿越，從而提高效率。因此，圖 1 之機械手臂 10 更有效且可進行較寬廣範圍的管板維修，包括檢查及/或維護程序。

【0031】 機械手臂 10 可經組構來視預期應用及/或使用者偏好與至少一儀器結合。舉例來說，在圖 1 之非限制性態樣中，機械手臂 10 可包括安裝於第一端接器 12 之導塊內的第一對導管 20 及安裝於第二端接器

14 之導塊內的第二對導管 22。導管 20、22 可包括延伸穿過端接器 12、14 的中空管。在一些非限制性態樣中，導管可包括額外組件，諸如用來確保與插入儀器之適當結合及插入儀器之定位的可撓性管道及/或配件。因此，圖 1 之導管 20、22 可經組構以接納及導引外部插入探針、或任何其他適用於預期應用的儀器，以確保適當定位來檢查及/或維修熱交換器。然而，在其他非限制性態樣中，可將任何適用於預期應用的儀器機械耦接至端接器 12、14。在該等態樣中，機械連接可係模組式，使得可根據使用者偏好將大量的可替換儀器機械耦接至機械手臂 10。在又其他非限制性態樣中，機械手臂 10 之導管 20、22 可包括經組構成沒有外部影響而延伸及/或縮回儀器的致動器。

【0032】 機械手臂 10 及更明確言之圖 1 之導管 20、22 係經組構成接納經組構來非破壞性測試熱交換器之管板(諸如渦電流測試)的探針。因此，機械手臂 10 可經由用關節連接至期望位置，使得探針可插入至導管 20、22 中來檢查熱交換器。探針可接著誘導電磁場，其可用來偵測及表徵存在於管板之整個傳導性材料，及更一般而言熱交換器本身之表面及表面下缺陷。因此，圖 1 之機械手臂 10 可用來改良對調節需要頻繁渦電流測試之核能發電廠的順從性。然而，渦電流測試僅係本揭示所考慮之測試的一個實例。在其他非限制性態樣中，導管 20、22 可接納經組構用於測試、檢查、及/或維修之任何構件的儀器。

【0033】 舉例來說，在一些非限制性態樣中，機械手臂 10 可包括插入工具(plugging tool)、焊接機、鋸子、及/或任何其他經組構來與位於端接器 12、14 之一或多者上之熱交換器交互作用或對其進行維修的儀器。在一些非限制性態樣中，工具可遠端操作。在其他非限制性態樣中，機械手臂 10 可包括儀器之任何組合。舉例來說，第一對導管 20 可經組

構以接納經組構來檢查管板之一對導管 20，及第二對導管 22 可經組構以接納經組構來維修熱交換器之儀器。另外及/或替代地，機械手臂 10 之導管 20、22 可係模組式且能夠接納任何數目的可替換儀器。本揭示所考慮之不同組構進一步提升機械手臂 10 之生產力並降低個別機械手臂 10 在相同管板上執行不同任務的需求。

【0034】 由於機械手臂 10 可包括位於其端接器 12、14 各者上之導管 20、22，因此圖 1 之機械手臂 10 可更有效率地維修熱交換器。此進一步降低已知機械手臂所需之動作數目，從而提升機械手臂 10 之生產力。在圖 1 之非限制性態樣中，機械手臂 10 可經組構成一旦機械手臂 10 已經適當定位及緊固即將導管 20、22 及/或其他儀器相對於管板定位。舉例來說，在圖 1 之非限制性態樣中，使用者可將外部探針插入至導管 20、22 中，該等導管經組構成與探針結合並將探針引導至管板上之適當位置以檢查熱交換器。然而，在其他非限制性態樣中，導管 20、22 可包括致動器以促進儀器相對於熱交換器的延伸及縮回。在又其他非限制性態樣中，儀器可機械耦接至端接器 12、14 且機械手臂 10 本身可經組構成朝向及遠離熱交換器移動。無論如何，機械手臂 10 可經適當組構以相對於熱交換器適當定向各式各樣的儀器來進行所需檢查及/或維修。

【0035】 現參照圖 2，繪示如自熱交換器之管板所見之圖 1 之關節式機械手臂 10 的平面圖。值得注意地，關節總成 24 之軸 A1、A2、A3 指出向機械手臂 10 提供之完整動作範圍。當明瞭機械手臂可將第一端接器 12 及第二端接器 14 相對於彼此定位於寬廣的位置陣列。因此，如第二端接器 14 經緊固至管板，則第一端接器 12 可在由第一關節連桿 26 之長度 L1 及第二關節連桿 28 之長度 L2 所界定之經特定組構的半徑內維修管。因此，關節總成 24 可經組構以減少機械手臂 10 為維修整個管板

所需進行的調動次數。另外及/或替代地，第一端接器 12 及第二端接器 14 之幾何形狀可視預期應用及/或使用者偏好經進一步組構以提升效率。

【0036】 進一步參照圖 2，繪示橫軸 L。根據圖 1 及 2 之非限制性態樣，夾持器 30 可經組構用來沿 L-軸橫向移動，以向管板之一管的內壁施加所需壓力來將機械手臂 10 緊固於定位。然而，在其他非限制性態樣中，夾持器可經組構成沿任何特定方向移動。在又其他非限制性態樣中，夾持器 30 可以各種方式(包括但不限於磁力、吸力、及/或其他形式之機械附接，包括其組合)將機械手臂 10 緊固至管板。因此，夾持器 30 可經組構成視需要移動，以視機械附接手段而定將機械手臂 10 適當地緊固至管板。

【0037】 現參照圖 3，其描繪根據本揭示之至少一非限制性態樣之圖 1 及 2 之關節式機械手臂 10 的立視圖。在圖 3 之立視圖中，第二端接器 14 之其中一個夾持器 30 經描繪為藉由該對致動器的一個致動器 18 延伸，可能夾持管板的孔洞。明確言之，可視機械手臂 10 之預期用途及/或使用者偏好有意地組構第一端接器 12 相對於第一連桿 26、第一連桿 26 相對於第二連桿 28、及第二連桿 28 相對於第二端接器 14 的幾何定向。舉例來說，根據圖 3 之非限制性態樣，第一端接器 14 可經組構為多平面托架，其包括第一表面 38 及藉由中心組件 42 正交連接至第一表面 38 的第二表面 40。第一對致動器 16 可裝置於第一表面 38 之下側上，第一表面可經進一步組構為包括導管 20 及/或其他儀器可安裝於其中的塊。第二表面 40 經由第一馬達總成 32 樞轉連接至關節總成 24 的第一連桿 26。第一連桿 26 可經由第二馬達總成 34 樞轉連接至第二連桿 28。

【0038】 進一步參照圖 3，第二端接器 14 可經由第三馬達總成 36 樞轉連接至第二連桿 28。根據圖 3 之非限制性態樣，第二端接器 14 可

進一步包括第一表面 44。類似於第一端接器 12，第二對致動器 18 可安裝於第一表面 44 之下側上，第一表面可進一步經組構爲包括探針及/或其他儀器可安裝於其中的導管 22。因此，第一端接器 14 之第一表面 38 及第二端接器 14 之第一表面 44 可經組構為存在於相同平面 P2 中，平面 P2 係平行於機械手臂 10 經組構成於其中移動之平面 P1、及管板之平面面兩者。因此，圖 3 之機械手臂 10 係經特定設計成使得夾持器 30 及/或導管 20、22 之起始點對於第一端接器 12 及第二端接器 14 兩者係均一的。此可簡化機械手臂 10 必須執行以有效率地維修熱交換器的調動動力學，其可進一步減少時間及加工資源。另外，圖 3 中描繪之幾何組構可幫助機械手臂 10 操縱管板之各種製造缺陷，諸如毛邊、突唇、及不平坦表面，而不用人類干預。

【0039】 根據本揭示之其他非限制性態樣，第一端接器 12、第二端接器 14、第一連桿 26、及第二連桿 28 可包括任何數目的幾何定向，使得導管 20、22 及/或夾持器 30 經組構成適應預期應用及/或使用者偏好。例如，在一些非限制性態樣中，第二端接器 14 亦包括多平面托架，及第一端接器 12 之夾持器 30 可定位於與第二端接器 12 之夾持器 30 不同的平面中。因此，機械手臂 10 可適應不同組構的管板，包括具有離散區段的共平面管板，且可不用人類干預而無縫地操縱存在於區段之間的不連續。在又其他非限制性態樣中，機械手臂 10 可經模組式組構成接納許多幾何組構的端接器，使得相同的機械手臂 10 可經修改並跨越相當多樣的管板及應用實施。

【0040】 關節總成 24 可經組構成具有各種機構以改良機械手臂 10 的移動精確度。例如，圖 3 之機械手臂 10 包括與第一軸 A1 對準的第一馬達 32、與第二軸 A2 對準的第二馬達 34、及與第三軸 A3 對準的第三

馬達 36。關節總成 24 之第一馬達 32、第二馬達 34、及第三馬達 36 可經特定選擇及組構以增進機械手臂 10 的可調動性。例如，第一馬達 32、第二馬達 34、及第三馬達 36 可係步進馬達、齒輪伺服馬達、壓電馬達、或其任何組合。當然，本揭示考慮其中關節總成 24 包括針對其預期應用定製之任何數目之可控制、旋轉致動器的其他非限制性態樣。

【0041】 另外，機械手臂 10 可包括經組構成與控制電路通信的處理器。處理器可經組構成執行儲存於耦接至機械手臂 10、或位於遠端之記憶體中的指令。在又其他非限制性態樣中，機械手臂 10 可包括經組構成與遠端指令來源通信的接受器及/或發射器。因此，處理器可基於儲存於記憶體中之指令命令機械手臂 10 之關節總成 24 執行一系列調動。替代地及/或另外，處理器可基於其即時自位於遠端位置之使用者接受之指令命令機械手臂 10 之關節總成 24 執行一系列調動。因此，使用者可佈署機械手臂 10 來自主檢查及/或維修管板，或遠端命令機械手臂 10 檢查及/或維修熱交換器。在其他非限制性態樣中，機械手臂可經組構來自主地執行一系列調動且使用者可視需要撤銷自主控制。無論如何，機械手臂 10 可經特定組構來最小化人類暴露至輻射的風險。

【0042】 現參照圖 4 及 5，進一步更詳細地說明關節總成 24。舉例來說，圖 4 繪示沿圖 2 之線 4-4 之機械手臂 10 的截面圖。圖 5 繪示沿圖 2 之線 5-5 之機械手臂 10 的截面圖。關節總成 24 之第一馬達 32、第二馬達 34、或第三馬達 36 可包括任何數目的機構來在機械手臂 10 於管板周圍調動時，確保佈線的適當路由並防止糾結。舉例來說，在一些非限制性態樣中，可將滑環總成定位於機械手臂 10 之第一軸 A1、第二軸 A2、或第三軸 A3 周圍以適合預期應用之需求並進一步提升機械手臂的可調動性。

【0043】 進一步參照圖 4 及 5，機械手臂 10 可進一步包括齒輪總成以管理第一端接器 12、第二端接器 14、第一關節連桿 26、及第二關節連桿 28 相對於另一者的旋轉。例如，可將各種齒輪裝設於第一軸 A1、第二軸 A2、及/或第三軸 A3 周圍，以提高或減低旋轉速度、逆轉旋轉方向、及將旋轉運動傳送至較佳軸。另外及/或替代地，機械手臂 10 可包括傳動裝置。因此，機械手臂 10 可經特定組構來視其預期應用或使用者偏好管理施加至第一端接器 12、第二端接器 14、第一關節連桿 26、及/或第二關節連桿 28 的扭矩。

【0044】 現參照圖 6，描繪根據本揭示之至少一態樣用來將圖 1 之關節式機械手臂 10 緊固至核能發電廠之熱交換器之管板之夾持器總成 100 的立視圖。圖 7 繪示根據本揭示之至少一非限制性態樣沿圖 6 之線 7-7 的截面圖。明確言之，夾持器總成 100 包括凸輪鎖扣組構。在圖 6 之非限制性態樣中，將間隙銷(standoff pins)15 放置成使用圓柱塊 4 與管板接觸。壓縮空氣可自腔室 52(圖 7)通過配件釋放，從而容許彈簧 53 升高圓柱體 54 及將夾持器爪 55(圖 7)放置於蒸汽產生器管內。導銷 60 保持圓柱體 54 與夾持器之對準。可使用由導銷 60 所致動之限制開關 69 來驗證插入。

【0045】 進一步參照圖 6 及 7，導銷 60 被保護於外殼 72 內。限制開關具有三項功能：(1)確保夾持器在致動夾持器爪 55 以抵靠對應的熱交換器管壓出之前處於完全向上位置；(2)偵測凸輪鎖扣是否不完全夾持對應的熱交換器管(當夾持器於夾持器爪經徑向減輕，以使機器人間隙銷 15 完全座於管板 65 上之後被向下拉時，限制開關將指示夾持器未完全向上)；及(3)偵測是否由於夾持器未完全插入而存在缺失的管，例如在一列或一行結束處，或插入的管。可使用此後一特徵來驗證機器人在其移動

跨越管板時的位置且係本發明的顯著特徵。藉由插入管中之夾持器爪 55，致動器活塞 56 藉由通過配件 57 供應之壓縮空氣被向上推。隨著致動器活塞向上移動，球 58 於錐形槽板 59 上滾動，從而使夾持器爪與管緊密接觸。使用球來減低夾持器爪與致動器活塞之間的摩擦，從而使得能夠藉由相當小的氣動活塞直徑獲得高接觸力(例如，大約 1,000 lbs)。球的低滾動摩擦除去小角度錐度的自鎖定特性。夾持器的下一個操作順序係加壓腔室 52，其試圖自管移除夾持器爪。由於夾持器爪經緊固至管，因此整個夾持器向上偏向，從而迫使銷 15 與管板緊密接觸。藉由緊密抵靠管板的銷，迫使機械手臂與管板保持平行並緊密接近。

【0046】 仍參照圖 6 及 7，自管移除夾持器可如下進行。自腔室 52 排出壓縮空氣，從而減輕於夾持器爪 55 上的力。藉由將壓縮空氣引入至配件 62 中同時通過配件 57 釋放空氣，而使致動器銷降低。鼻錐 63 確保球回到其原始位置且夾持器爪 55 被捕捉。致動器圓柱體 54 接著藉由加壓腔室 52 降低。

【0047】 圖 8 繪示根據本揭示之另一非限制性態樣，沿圖 6 之線 7-7 的截面圖。相同的參考字符指示先前參照圖 7 所述的對應元件。圖 8 之態樣與圖 7 的差別係已在致動器活塞 56 之頂部周圍添加彈簧 67 來在將爪插入於管內時使爪 55 抵靠對應的熱交換器管偏向以防止意外釋放。另外，球軸承 58 經保持於套筒內，但當活塞 56 經致動以迫使爪 55 徑向向外時如先前所述沿槽板移動。

【0048】 圖 9 係圖 8 中繪示之夾持器之夾爪區域的放大圖。可明瞭軸承 58 係經固持在套筒 68 內，各經支撐於其個自封袋內，並當致動器活塞向上移動以迫使爪 55 徑向向外時自由滾動。為縮回夾持器爪 55，通過配件 62 引入空氣以在相反方向上壓迫活塞並迫使爪 55 向內，繼而

壓迫套筒 68 內之球軸承 58 向下，直至其座於其之下部移動範圍且爪 55 被鼻錐 63 捕捉為止。當鼻錐 63 經縮回時，軸承球 58 將被壓迫至最低位置。此確保當致動器活塞 56 及導件 70 縮回時，夾持器爪 55 將完全鬆垮。導件 70、致動器 56 及夾持器爪 55 經旋轉固定，其中小水平銷 71 位於凸輪鎖扣的中心，以確保球 58 保持於槽板中而不會移動至夾持器爪 55 之間的開口槽。總共存在 24 個周圍間隔於位在實質上等距、周圍環繞致動器活塞 56 之六個軸向延伸列中的球。然而，在其他非限制性態樣中，列及/或球的明確數目及組構可視預期應用而改變。

【0049】 值得注意的係圖 6-9 中描繪的夾持器組構係專門經呈現來作說明用以實現本揭示。當明瞭文中揭示的機械手臂 10 可包括用來將其緊固至管板之任何數目的機構。因此，如本揭示所使用之術語「夾持器」應作寬廣的解釋，且不應排除任何能夠將機械手臂 10 之端接器 12、14 緊固至管板的機構。

【0050】 在以下編號的條項中闡述本文所述主題之各種態樣：

【0051】 條項 1： 一種經組構來操縱熱交換器的機械手臂，其中該熱交換器包括複數個延伸穿過管板之管，該機械手臂包括經組構成接納經組構來維修該熱交換器之儀器的第一端接器，其中該第一端接器包括耦接至第一夾持器之第一致動器，其中該第一致動器係經組構成將該第一夾持器延伸至該複數個管的一個管中，且其中該第一夾持器係經組構成將該機械手臂緊固至該管板；第二端接器，其包括耦接至第二夾持器之第二致動器，其中該第二致動器係經組構成延伸至該複數個管的一個管中，且其中該第二夾持器係經組構成將該機械手臂緊固至該管板；及關節總成，其包括第一連桿及第二連桿，其中該第一連桿係樞轉連接至該第一端接器且可繞第一軸旋轉，其中該第一連桿係樞轉連接至該第二連桿

且可繞第二軸旋轉，且其中該第二連桿係樞轉連接至該第二端接器且可繞第三軸旋轉，其中，當該第二夾持器將該機械手臂緊固至該管板時，該關節總成係經組構成使得該第一端接器能夠在平行於該管板之平面中相對於該第二端接器移動。

【0052】 條項 2： 如條項 1 之機械手臂，其中該第二端接器係經組構成接納經組構來維修該熱交換器之儀器，且其中，當該第一夾持器將該機械手臂緊固至該管板時，該關節總成係經組構成使得該第二端接器能夠在平行於該管板之平面中相對於該第一端接器移動。

【0053】 條項 3： 如條項 1 或 2 之機械手臂，其中該關節總成包括經組構成使該第一端接器相對於該第二端接器移動的馬達。

【0054】 條項 4： 如條項 1 至 3 中任一項之機械手臂，其進一步包括耦接至該第一端接器、該第二端接器、及該關節總成之控制電路，其中控制電路係經組構成基於指令命令該馬達相對於該第二端接器移動該第一端接器。

【0055】 條項 5： 如條項 1 至 4 中任一項之機械手臂，其中該控制電路係經進一步組構成自遠端電腦系統接收該指令。

【0056】 條項 6： 如條項 1 至 5 中任一項之機械手臂，其中該控制電路係經進一步組構成自記憶體擷取該指令。

【0057】 條項 7： 如條項 1 至 6 中任一項之機械手臂，其進一步包括機械耦接至該第一端接器之儀器。

【0058】 條項 8： 如條項 1 至 7 中任一項之機械手臂，其進一步包括經組構成與外部插入儀器結合並將其導引至該管板上之適當位置以維修該熱交換器的導管。

【0059】 條項 9： 如條項 1 至 8 中任一項之機械手臂，其進一步

包括經組構成誘導電磁場並偵測誘導磁場之變化及基於該誘導磁場之偵測變化來表徵該熱交換器之表面及/或表面下的儀器。

【0060】 條項 10：如條項 1 至 9 中任一項之機械手臂，一模組連接器經組構成與該第一端接器選擇性地結合，使得該第一端接器係可替換且可自該機械手臂解耦。

【0061】 條項 11：如條項 1 至 10 中任一項之機械手臂，其中該第一夾持器包括經組構成橫向移動並於該複數個管之一管的內壁上施加壓力的機構。

【0062】 條項 12：如條項 1 至 11 中任一項之機械手臂，其中該第一夾持器包括包含複數個可擴張爪的凸輪鎖扣機構，其中該複數個可擴張爪的各個可擴張爪係經組構成於該複數個管之一管的內表面上施加壓力。

【0063】 條項 13：一種經組構來維修熱交換器的系統，其中該熱交換器包括複數個延伸穿過管板之管，該系統包括機械手臂，該機械手臂包括經組構成接納經組構來維修熱交換器之儀器的第一端接器，其中該第一端接器包括耦接至第一夾持器之第一致動器，其中該第一致動器係經組構成將該第一夾持器延伸至該複數個管的一個管中，且其中該第一夾持器係經組構成將該機械手臂緊固至該管板；第二端接器，其包括耦接至第二夾持器之第二致動器，其中該第二致動器係經組構成延伸至該複數個管的一個管中，且其中該第二夾持器係經組構成將該機械手臂緊固至該管板；及關節總成，其包括第一連桿、第二連桿、及馬達，其中該第一連桿係樞轉連接至該第一端接器且可繞第一軸旋轉，其中該第一連桿係樞轉連接至該第二連桿且可繞第二軸旋轉，且其中該第二連桿係樞轉連接至該第二端接器且可繞第三軸旋轉；及耦接至該第一端接器、該第二

端接器、及該關節總成之控制電路，其中控制電路係經組構成基於指令命令該馬達在平行於該管板之平面中相對於該第二端接器移動該第一端接器。

【0064】 條項 14：如條項 13 之系統，其中該第二端接器係經組構成接納經組構來維修該熱交換器之儀器，且其中，當該第一夾持器將該機械手臂緊固至該管板時，該控制電路進一步經組構成基於該指令命令該馬達在平行於該管板之平面中相對於該第一端接器移動該第二端接器。

【0065】 條項 15：如條項 13 或 14 之系統，其進一步包括經組構成誘導電磁場並偵測誘導磁場之變化及基於該誘導磁場中之偵測變化來表徵該熱交換器之表面及/或表面下的儀器。

【0066】 條項 16：如條項 13 至 15 中任一項之系統，其進一步包括電腦系統，其中該控制電路係經進一步組構成自該電腦系統接收該指令。

【0067】 條項 17：如條項 13 至 16 中任一項之系統，其進一步包括經組構成儲存該指令之記憶體，其中該控制電路係經進一步組構成自該記憶體擷取該指令。

【0068】 條項 18：一種使用機械手臂維修包括複數個延伸穿過管板之管之熱交換器的方法，該機械手臂包括經組構成接納經組構來維修該熱交換器之儀器的第一端接器，其中該第一端接器包括經組構成使第一夾持器延伸至該複數個管之一個管中的第一致動器；經組構成接納經組構來維修該熱交換器之第二儀器的第二端接器，其中該第二端接器包括經組構成使第二夾持器延伸至該複數個管之一個管中的第二致動器；及關節總成，其包括第一連桿、第二連桿、及經組構成使該第一端接器在平行於該管板之平面中相對於該第二端接器移動的馬達，其中該等第一

夾持器及第二夾持器係經組構成將該機械手臂緊固至該管板，該方法包括使該第二夾持器延伸至該複數個管之一個管中，藉由該第二夾持器將該機械手臂緊固至該管板，藉由該馬達使該第一端接器在平行於該管板之平面中相對於該第二端接器移動，直至該第一端接器到達第一期望位置；及藉由該第一儀器在該第一期望位置附近維修該熱交換器。

【0069】 條項 19：如條項 18 之方法，其中該馬達進一步經組構成使該第二端接器在平行於該管板之平面中相對於該第一端接器移動，該方法進一步包括使該第一夾持器延伸至該複數個管之一個管中，藉由該第一夾持器將該機械手臂緊固至該管板，藉由該馬達使該第二端接器在平行於該管板之平面中相對於該第一端接器移動，直至該第二端接器到達第二期望位置，及藉由該第二儀器在該第二期望位置附近維修該熱交換器。

【0070】 條項 20：如條項 18 或 19 之方法，其中維修該熱交換器進一步包括藉由該第一儀器誘導電磁場，藉由該第一儀器偵測該誘導磁場之變化，及藉由該第一儀器基於該誘導磁場中之偵測變化來表徵該熱交換器之表面及/或表面下。

【0071】 本文中所提及的所有專利、專利申請案、公開案或其他揭示材料皆特此以全文引用之方式併入，如同每一個別參考文獻分別以引用方式明確地併入一般。據稱以引用之方式併入本文中的所有參考文獻及其任何材料或其部分僅在併入之材料不會與本公開中所闡述之現有定義、陳述或其他揭示材料矛盾之程度上併入本文中。因而且在必要程度上，如本文中所闡述之揭示內容取代以引用方式併入本文中之任何矛盾的材料及在本申請案對照中明確闡述之揭示內容。

【0072】 已參考各種例示性及說明性態樣描述本發明。本文中所描

述之態樣應理解為提供本發明之各種態樣之不同細節的說明性特徵；且因此，除非另外指定，否則應理解，在可能之情況下，所揭示態樣之一或多個特徵、元件、組件、組份、成份、結構、模組及/或態樣可與或相對於所揭示態樣之一或多個其他特徵、元件、組件、組份、成份、結構、模組及/或態樣組合、分開、互換及/或重新配置，而不脫離本發明之範圍。因此，一般熟悉本技藝者將認識到，可在不脫離本發明範圍之情況下進行例示性態樣中之任一者的各種替代、修改或組合。此外，熟悉本技藝者將認識到或能夠在審閱本說明書後僅使用常規實驗確定本文中所描述之本發明之各種態樣的許多等效物。因此，本發明不受各種態樣之描述限制，而是受申請專利範圍限制。

【0073】 熟習該項技藝者應明白，通常，本說明書且特別是在所附申請專利範圍(例如，所附申請專利範圍的主體)中使用的用語通常是指「開放性(open)」用語(例如，用語「包含(including)」應解釋為「包含但不限於」，用語「具有(having)」應解釋為「至少具有」，用語「包含(includes)」應解釋為「包含但不限於」等)。熟習該項技藝者將更瞭解，如果意欲特定數量的所引用請求項陳述(claim recitation)，則在申請專利範圍中明確陳述此意圖，而在沒有此陳述的情況下，則此意欲就不存在。例如，為了幫助瞭解，隨後所附申請專利範圍可包含引用片語「至少一個(at least one)」和「一或多個(one or more)」的使用以引用請求項陳述。然而，這類片語的使用不應詮釋以暗示請求項陳述中引用不定冠詞「一(a)」或「一個(an)」對包含此所引用請求項陳述的任何特定請求項限制為僅含此一陳述的請求項，即使當相同請求項包括引用片語「一或多個」或「至少一個」和諸如「一」或「一個」的不定冠詞(例如，「一」及/或「一個」通常應解釋為意指「至少一個」或「一或多個」)；對用於

引入請求項陳述的定冠詞使用亦是如此。

【0074】 此外，即使明確陳述一特定數量的所引用請求項陳述，熟習該項技藝者將明白，這類陳述通常應解釋成至少意指所陳述的數目(例如，沒有其他修飾語之「兩陳述」的真實陳述通常意指至少兩陳述，或兩或多個陳述)。此外，在使用類似於「A、B 和 C 等之至少一者」 的習用語的這類情況下，通常此語法結構是熟習該項技藝者所能夠理解習用語的意義(例如，「一種具有 A、B 和 C 之至少一者的系統」將包括但不限於僅具 A、僅具 B、僅具 C、結合 A 和 B、結合 A 和 C、結合 B 和 C、及/或結合 A、B 和 C 等的系統)。在使用類似於「A、B 或 C 等之至少一者」 的習用語的這類情況下，通常此語法結構是熟習該項技藝者所能夠理解習用語的意義(例如，「一種具有 A、B 或 C 之至少一者的系統」將包括但不限於僅具 A、僅具 B、僅具 C、結合 A 和 B、結合 A 和 C、結合 B 和 C、及/或結合 A、B 和 C 等的系統)。熟習該項技藝者將更瞭解到，無論是在實施方式、申請專利範圍或圖式中，通常代表兩或多個替代性用語的選擇性字及/或用語都應理解成，除非另有特別說明，否則考慮包括多個用語之一者、多個用語之任一者、或兩用語的可能性。例如，用語「A 或 B」將通常瞭解為包括「A」或「B」或「A 和 B」的可能性。

【0075】 關於所附申請專利範圍，熟習該項技藝者應明白，其中所列舉的操作通常可採用任何順序執行。而且，雖然請求項陳述係順序示出，但是應瞭解，可採用所說明者以外的其他順序來執行各種操作；或者，可同時執行各種操作。除非另有特別說明，否則這些替代排序的實例可包括重疊、交錯、中斷、重新排序、遞增、準備、補充、同時、反向或其他變異排序。此外，除非另有特別說明，否則諸如「隨著」、「關於」或其他過去式形容詞之類的用語通常未受到排除這類變異形式。

【0076】 值得注意，「一種態樣」、「一態樣」、「一示例」、「一種示例」等的任何參考意味著一結合態樣描述的特定特徵、結構或特性包含在至少一態樣中。因此，在整個說明書中各處出現的用語「在一種態樣」、「在一態樣」、「在一示例性」和「在一種示例性」不必然都意指相同態樣。此外，在一或多個態樣中可採用任何適當方式組合多個特定特徵、結構或特性。

【0077】 除非上下文另外清楚地規定，否則如本文中所使用之單數形式「一(a)」、「一個(an)」及「該(the)」包括複數個參考物。

【0078】 除非另外明確地陳述，否則本文中所使用之方向性片語，諸如但不限於頂部、底部、左、右、下部、上部、前部、背部及其變化形式，應關於附圖中所展示之元件之定向且不對申請專利範圍造成限制。

【0079】 除非另有特別說明，否則本發明中使用的用語「約」或「概略」意指一特定值憑藉熟悉技藝人士所確定的可接受誤差，該誤差部分取決於數值的測量或確定方式。在某些態樣中，用語「約」或「概略」意指在 1、2、3 或 4 個標準偏差內。在某些態樣中，用語「約」或「概略」意指在一給定值或範圍的 50%、20%、15%、10%、9%、8%、7%、6%、5%、4%、3%、2%、1%、0.5%或 0.05%內。

【0080】 在本說明書中，除非特別說明，否則所有數值參數應認為在所有情況下均通過用語「約」作為開頭和修飾，其中數值參數具有用於確定參數數值的基礎測量技術的固有可變性特徵。最起碼而言，且不試圖將均等論的應用限制於申請專利範圍的範疇，本說明書描述的每個數值參數應至少根據所列舉有效數字的數目並通過應用普通四捨五入技術來詮釋。

【0081】 本說明書列舉的任何數值範圍包括在列舉範圍內所涵蓋

的全部子範圍。例如，範圍「1 到 10」包括介於(且包括)所列舉最小值 1 和所列舉最大值 10 之間(即是，具有等於或大於 1 的最小值和等於或小於 10 的最大值)的所有子範圍。而且，本說明書所列舉的全部範圍包含所列舉範圍的端點。例如，一範圍「1 到 10」包括端點 1 和 10。本說明書中列舉的任何最大數值限制旨在包括其中所涵蓋的全部較低數值限制，且本說明書中列舉的任何最小數值限制旨在包括其中所涵蓋的全部較高數值限制。因此，申請人保留修改本說明書(包括申請專利範圍)的權利，以明確列舉涵蓋在明確列舉範圍內的任何子範圍。本說明書本質上描述所有這些範圍。

【0082】在本說明書中所參考及/或在任何申請資料表(Application Data Sheet)中所列出的任何專利申請案、專利案、非專利公開案或其他揭露文獻併入本說明書供參考，在某種程度上，併入的文獻與本說明書不相矛盾。因此，在必要的程度上，本說明書明確闡述的揭露內容係取代併入本說明書供參考的任何矛盾文獻。併入本說明書供參考但與本說明書闡述的現有定義、聲明或其他揭露文獻相矛盾的任何文獻或其部分，將僅以所併入文獻與現有揭露文獻之間不發生矛盾的程度併入。

【0083】多個用語「包含(comprise)」(及任何形式的包含，諸如「包含(comprises)」和「包含(comprising)」)、「具有(have)」(及任何形式的具有，諸如「具有(has)」和「具有(having)」)、「包括(include)」(及任何形式的包括，諸如「包括(includes)」和「包括(including)」)和「含有(contain)」(及任何形式的含有，諸如「含有(contains)」和「含有(containing)」)都是非限定開放式連綴動詞。因此，一種「包含」、「具有」、「包括」或「含有」一或多個元件的系統擁有這類一或多個元件，

但不限於僅擁有這類一或多個元件。同樣地，一種「包含」、「具有」、「包括」或「含有」一或多個特徵的系統、裝置或設備的元件擁有這類一或多個特徵，但不限於僅擁有這類一或多個特徵。

【符號說明】

【0084】

4:圓柱塊

10:關節式機械手臂

12:第一端接器

14:第二端接器

15:間隙銷

16:第一對致動器

18:第二對致動器

20:第一對導管

22:第二對導管

24:關節系統；關節總成

26:第一連桿

28:第二連桿

30:夾持器

32:第一馬達總成

34:第二馬達總成

36:第三馬達總成

38:第一表面

40:第二表面

42:中心組件

44:第一表面

52:腔室

53:彈簧

54:圓柱體

55:夾持器爪

56:致動器活塞

57:配件

58:球；球軸承

59:錐形槽板

60:導銷

62:配件

63:鼻錐

65:管板

67:彈簧

68:套筒

69:限制開關

70:導件

71:小水平銷

72:外殼

100:夾持器總成

A1:第一軸

A2:第二軸

A3:第三軸

L:橫軸

L1:第一關節連桿 26 之長度

L2:第二關節連桿 28 之長度

P1:平面

P2:平面

【發明申請專利範圍】

【請求項 1】 一種經組構來操縱熱交換器的機械手臂，其中該熱交換器包括複數個延伸穿過管板之管，該機械手臂包括：

經組構成接納經組構來維修該熱交換器之儀器的第一端接器，其中該第一端接器包括耦接至第一夾持器之第一致動器，其中該第一致動器係經組構成將該第一夾持器延伸至該複數個管的一個管中，且其中該第一夾持器係經組構成將該機械手臂緊固至該管板；

第二端接器，其包括耦接至第二夾持器之第二致動器，其中該第二致動器係經組構成延伸至該複數個管的一個管中，且其中該第二夾持器係經組構成將該機械手臂緊固至該管板；及

關節總成，其包括第一連桿及第二連桿，其中該第一連桿係樞轉連接至該第一端接器且可繞第一軸旋轉，其中該第一連桿係樞轉連接至該第二連桿且可繞第二軸旋轉，且其中該第二連桿係樞轉連接至該第二端接器且可繞第三軸旋轉；

其中，當該第二夾持器將該機械手臂緊固至該管板時，該關節總成係經組構成使得該第一端接器能夠在平行於該管板之平面中相對於該第二端接器移動。

【請求項 2】 如請求項 1 之機械手臂，其中該第二端接器係經組構成接納經組構來維修該熱交換器之儀器，且其中，當該第一夾持器將該機械手臂緊固至該管板時，該關節總成係經組構成使得該第二端接器能夠在平行於該管板之平面中相對於該第一端接器移動。

【請求項 3】 如請求項 1 之機械手臂，其中該關節總成包括經組構成使該第一端接器相對於該第二端接器移動的馬達。

【請求項 4】 如請求項 3 之機械手臂，其進一步包括耦接至該第一

端接器、該第二端接器、及該關節總成之控制電路，其中控制電路係經組構成基於指令命令該馬達相對於該第二端接器移動該第一端接器。

【請求項 5】 如請求項 4 之機械手臂，其中該控制電路係經進一步組構成自遠端電腦系統接收該指令。

【請求項 6】 如請求項 4 之機械手臂，其中該控制電路係經進一步組構成自記憶體擷取該指令。

【請求項 7】 如請求項 1 之機械手臂，其進一步包括機械耦接至該第一端接器之儀器。

【請求項 8】 如請求項 1 之機械手臂，其進一步包括經組構成與外部插入儀器結合並將其導引至該管板上之適當位置以維修該熱交換器的導管。

【請求項 9】 如請求項 1 之機械手臂，其進一步包括經組構成誘導電磁場並偵測誘導磁場之變化及基於該誘導磁場之偵測變化來表徵該熱交換器之表面及/或表面下的儀器。

【請求項 10】如請求項 1 之機械手臂，其進一步包括經組構成與該第一端接器選擇性地結合，使得該第一端接器係可替換且可自該機械手臂解耦的模組連接器。

【請求項 11】如請求項 1 之機械手臂，其中該第一夾持器包括經組構成橫向移動並於該複數個管之一管的內壁上施加壓力的機構。

【請求項 12】如請求項 1 之機械手臂，其中該第一夾持器包括包含複數個可擴張爪的凸輪鎖扣機構，其中該複數個可擴張爪的各個可擴張爪係經組構成於該複數個管之一管的內表面上施加壓力。

【請求項 13】一種經組構來維修熱交換器的系統，其中該熱交換器包括複數個延伸穿過管板之管，該系統包括：

機械手臂，其包括：

第一端接器，其包括耦接至第一夾持器之第一致動器且經組構成接納經組構來維修該熱交換器之儀器，其中該第一致動器係經組構成將該第一夾持器延伸至該複數個管的一個管中，且其中該第一夾持器係經組構成將該機械手臂緊固至該管板；

第二端接器，其包括耦接至第二夾持器之第二致動器，其中該第二致動器係經組構成延伸至該複數個管的一個管中，且其中該第二夾持器係經組構成將該機械手臂緊固至該管板；及

關節總成，其包括第一連桿、第二連桿、及馬達，其中該第一連桿係樞轉連接至該第一端接器且可繞第一軸旋轉，其中該第一連桿係樞轉連接至該第二連桿且可繞第二軸旋轉，且其中該第二連桿係樞轉連接至該第二端接器且可繞第三軸旋轉；及

耦接至該第一端接器、該第二端接器、及該關節總成之控制電路，其中控制電路係經組構成基於指令引起該馬達在平行於該管板之平面中相對於該第二端接器移動該第一端接器。

【請求項 14】 如請求項 13 之系統，其中該第二端接器係經組構成接納經組構來維修該熱交換器之儀器，且其中，當該第一夾持器將該機械手臂緊固至該管板時，該控制電路進一步經組構成基於該指令命令該馬達在平行於該管板之平面中相對於該第一端接器移動該第二端接器。

【請求項 15】 如請求項 13 之系統，其進一步包括經組構成誘導電磁場並偵測該誘導磁場之變化及基於該誘導磁場中之偵測變化來表徵該熱交換器之表面及/或表面下的儀器。

【請求項 16】 如請求項 13 之系統，其進一步包括電腦系統，其中該控制電路係經進一步組構成自該電腦系統接收該指令。

【請求項 17】 如請求項 13 之系統，其進一步包括經組構成儲存該指令之記憶體，其中該控制電路係經進一步組構成自該記憶體擷取該指令。

【請求項 18】一種使用機械手臂來維修包括複數個延伸穿過管板之管之熱交換器的方法，該機械手臂包括經組構成接納經組構來維修該熱交換器之第一儀器的第一端接器，其中該第一端接器包括經組構成使第一夾持器延伸至該複數個管之一個管中的第一致動器；經組構成接納經組構來維修該熱交換器之儀器的第二端接器，其中該第二端接器包括經組構成使第二夾持器延伸至該複數個管之一個管中的第二致動器；及關節總成，其包括第一連桿、第二連桿、及經組構成使該第一端接器在平行於該管板之平面中相對於該第二端接器移動的馬達，其中該等第一夾持器及第二夾持器係經組構成將該機械手臂緊固至該管板，該方法包括：

使該第二夾持器延伸至該複數個管之一個管中；

藉由該第二夾持器將該機械手臂緊固至該管板；

藉由該馬達使該第一端接器在平行於該管板之平面中相對於該第二端接器移動，直至該第一端接器到達第一期望位置；及

藉由該第一儀器在該第一期望位置附近維修該熱交換器。

【請求項 19】 如請求項 18 之方法，其中該馬達進一步經組構成使該第二端接器在平行於該管板之平面中相對於該第一端接器移動，該方法進一步包括：

使該第一夾持器延伸至該複數個管之一個管中；

藉由該第一夾持器將該機械手臂緊固至該管板；

藉由該馬達使該第二端接器在平行於該管板之平面中相對於該第一端接器移動，直至該第二端接器到達第二期望位置；及

藉由該第二儀器在該第二期望位置附近維修該熱交換器。

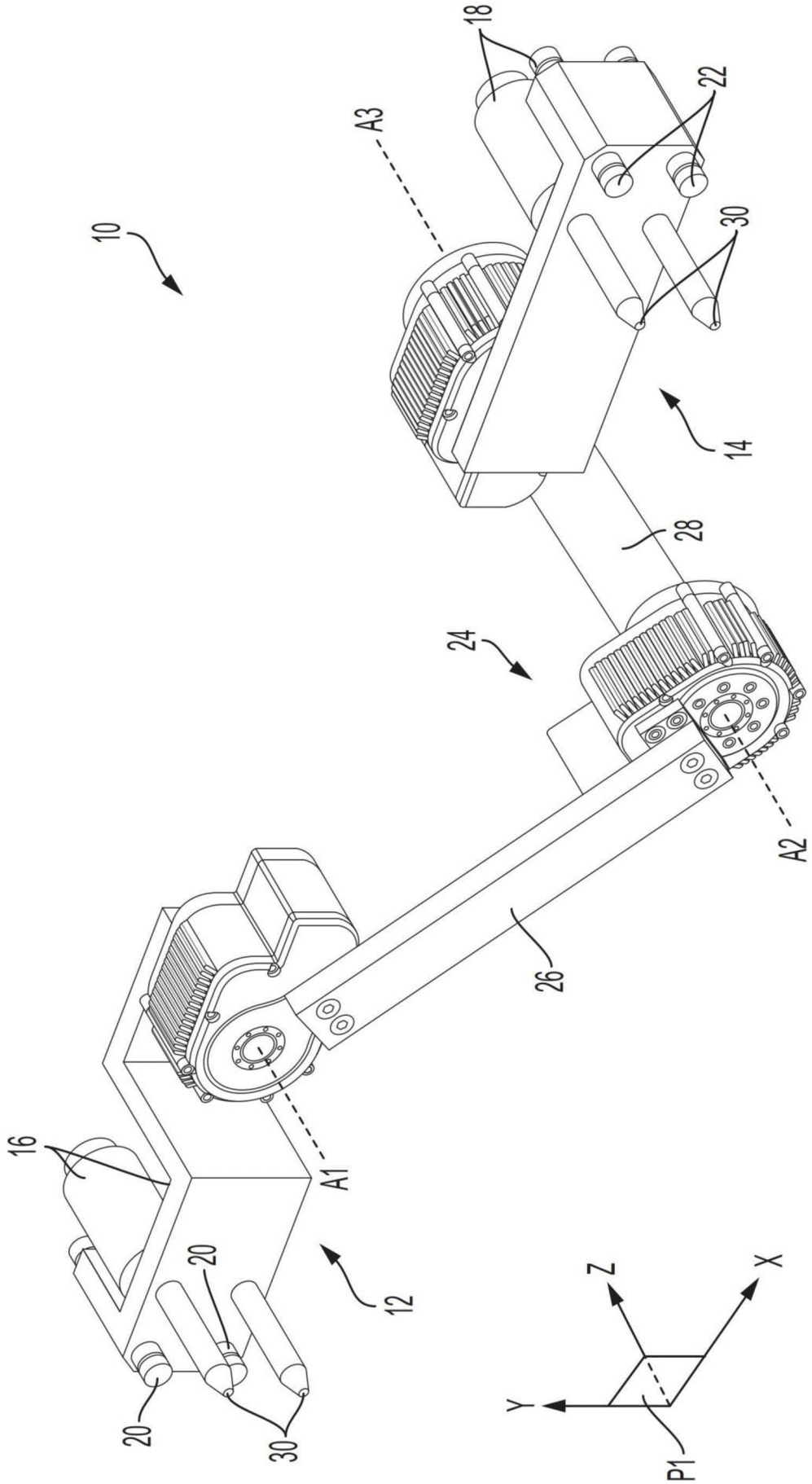
【請求項 20】 如請求項 18 之方法，其中維修該熱交換器進一步包括：

藉由該第一儀器誘導電磁場；

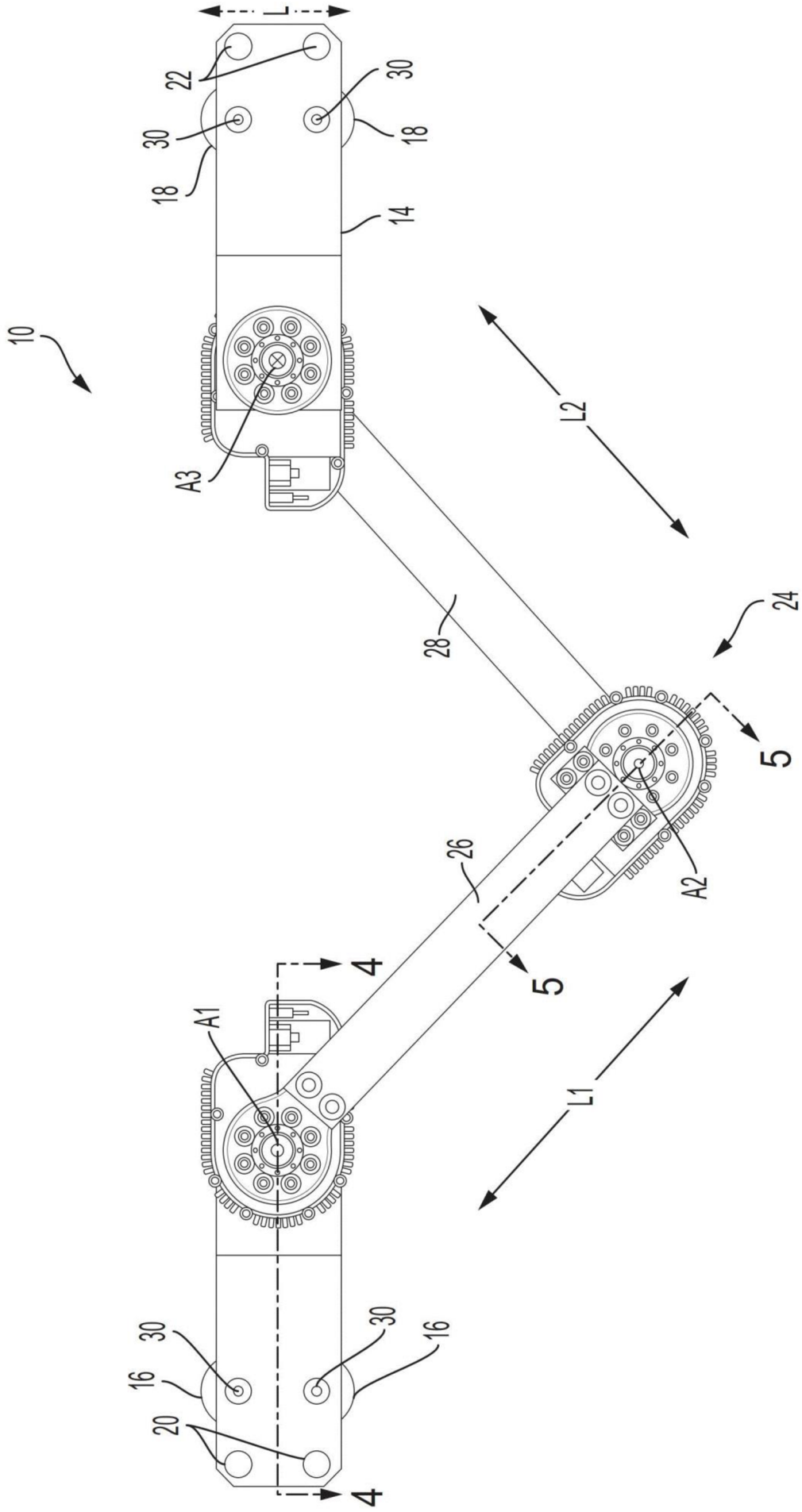
藉由該第一儀器偵測該誘導磁場之變化；及

藉由該第一儀器基於該誘導磁場中之偵測變化來表徵該熱交換器之表面及/或表面下。

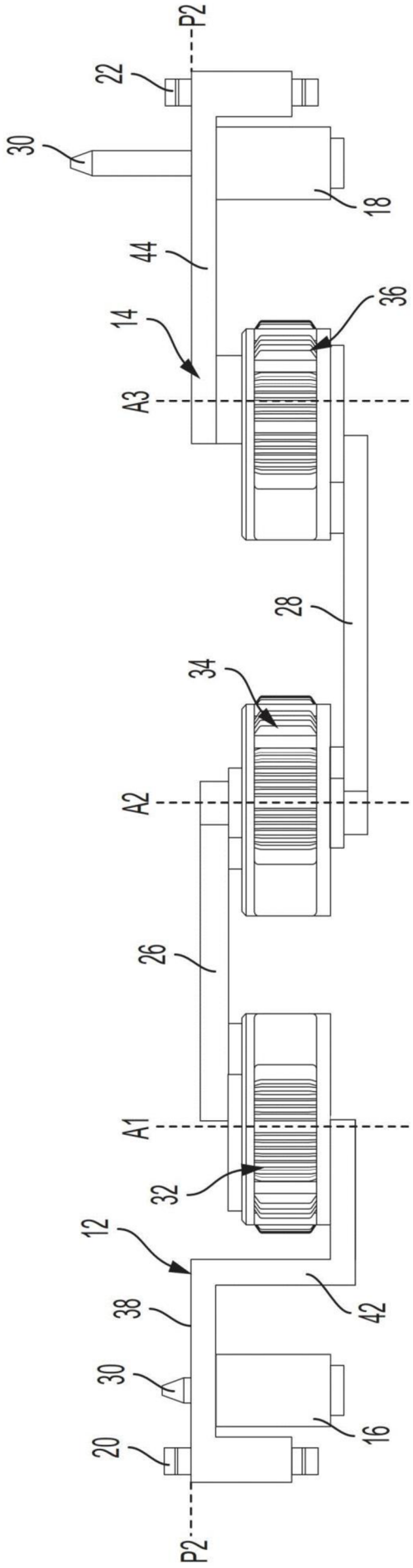
【發明圖式】



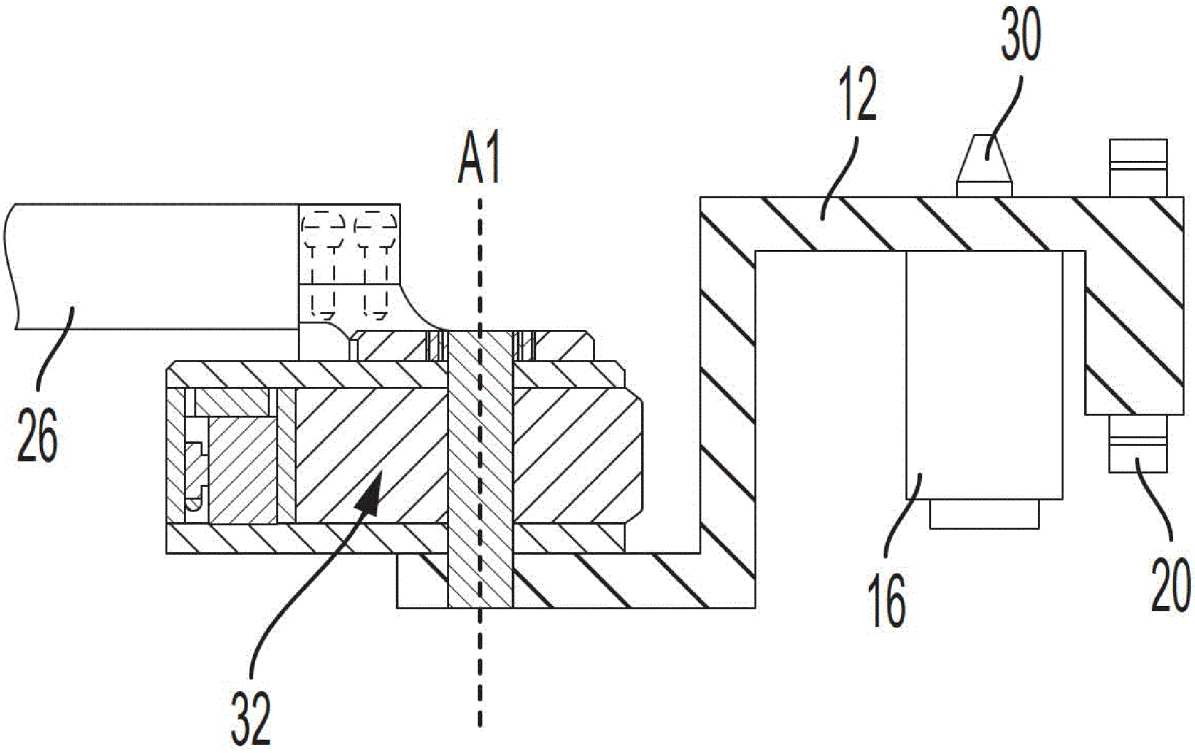
【圖1】



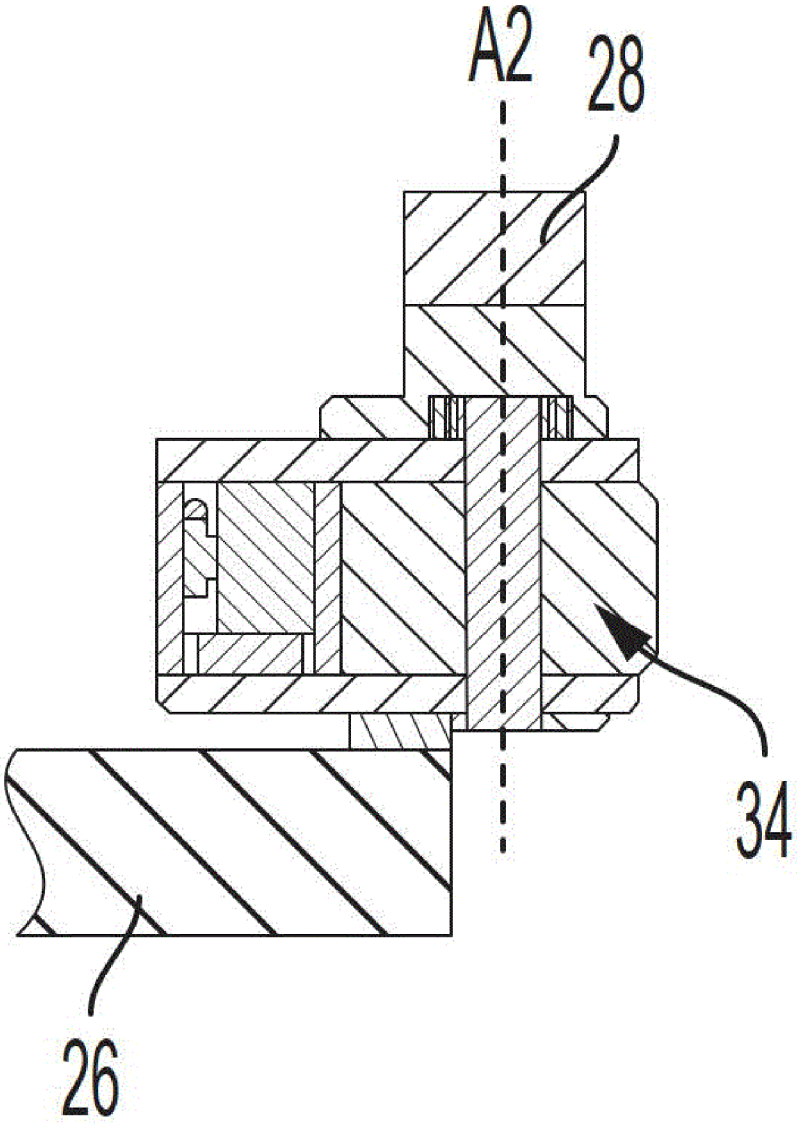
【圖2】



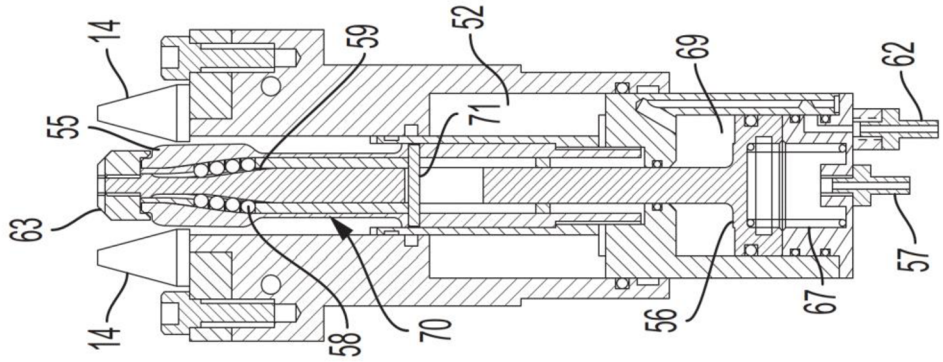
【圖3】



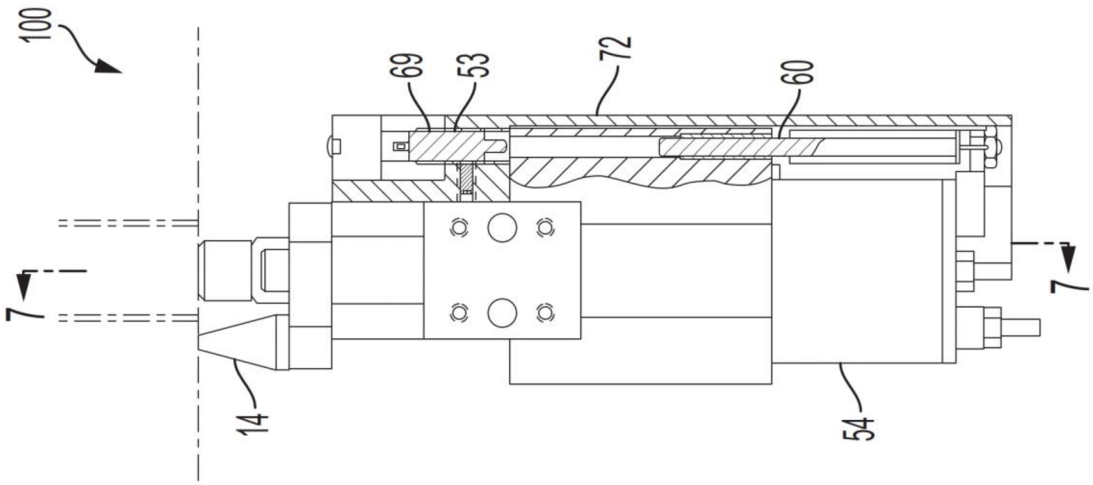
【圖4】



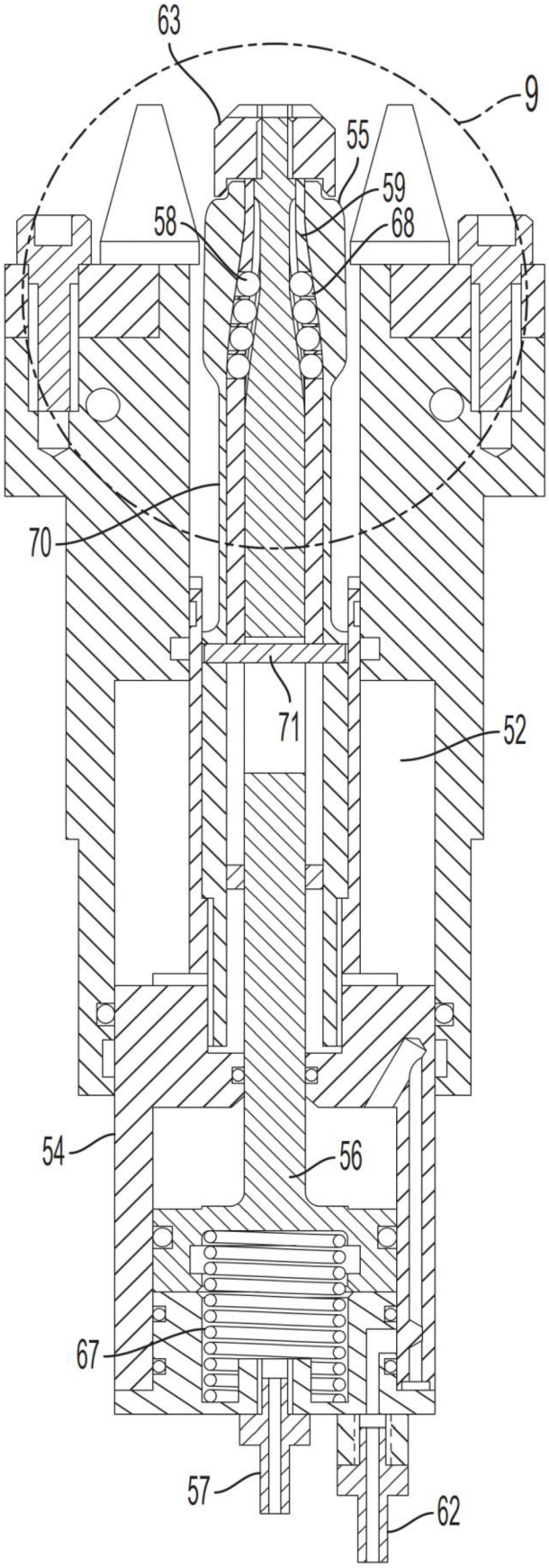
【圖5】



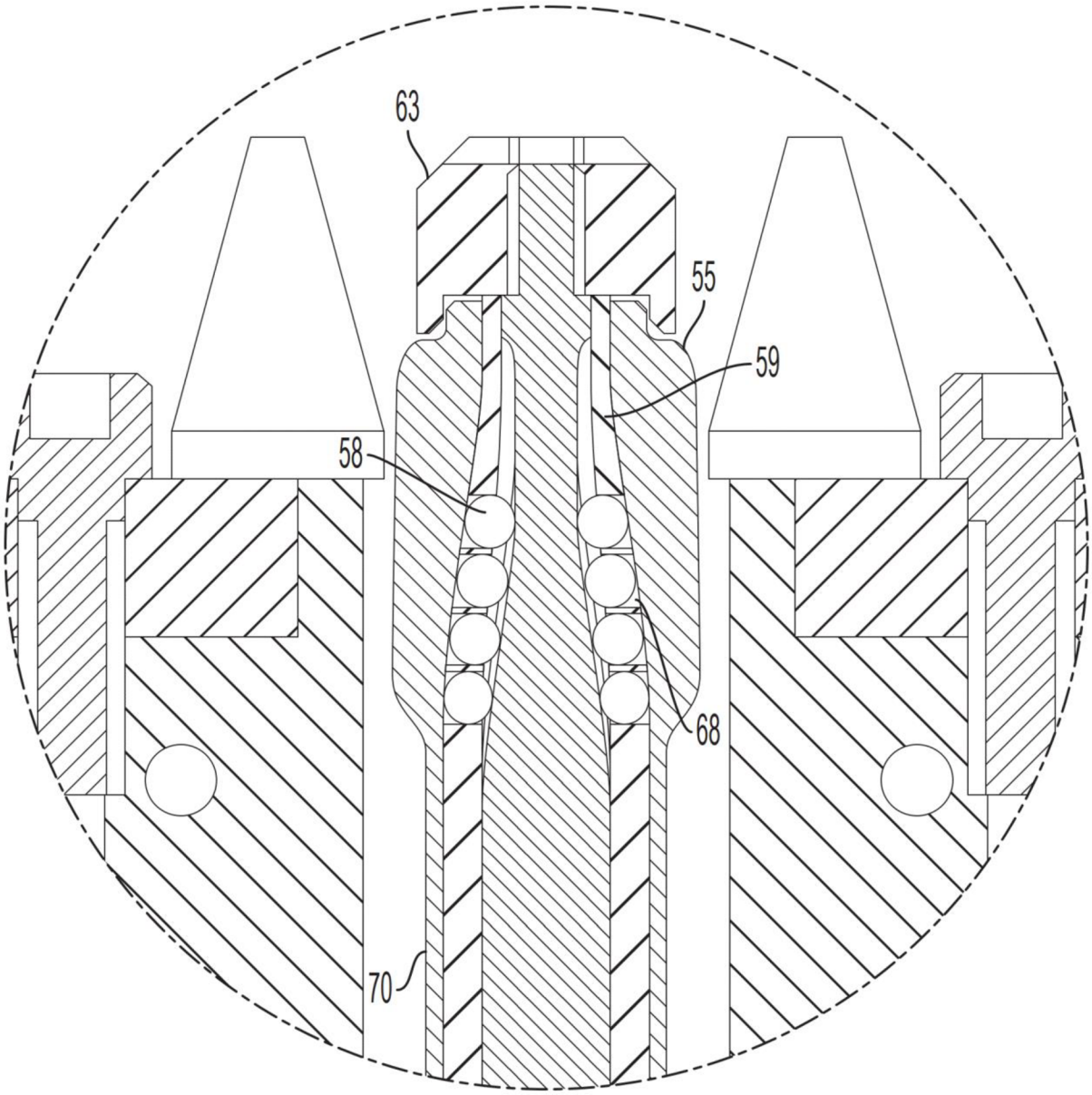
【圖7】
先前技術



【圖6】
先前技術



【圖8】
先前技術



【圖9】
先前技術