(19)中华人民共和国国家知识产权局

(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 102463571 B
(45)授权公告日 2015.05.06

(21)申请号 201110343679.0

(22)申请日 2011.11.03

(30)优先权数据
2010-247656 2010.11.04 JP

(73)专利权人 株式会社安川电机
地址 日本福冈县

(72)发明人 一番濑敦 真田孝史 蒲原圭

(74)专利代理机构 北京三友知识产权代理有限公司 11127
代理人 李辉 王小东

(51)Int.Cl.
B25J 9/08(2006.01)
B25J 19/00(2006.01)

审查员 王慰慰

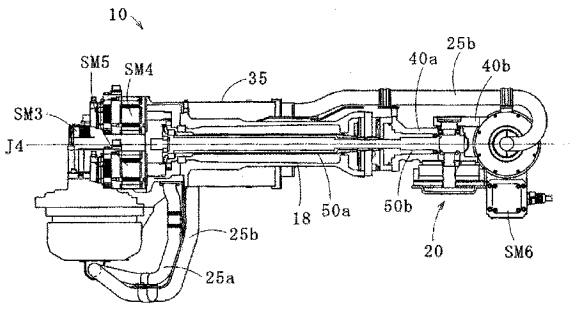
权利要求书2页 说明书5页 附图9页

(54)发明名称

机器人手腕结构和机器人

(57)摘要

本发明涉及一种机器人手腕结构和机器人。所述机器人手腕结构包括：第一腕臂，该第一腕臂能绕第一轴线旋转；第二腕臂，该第二腕臂设置在所述第一腕臂的末端部中并且构造成绕大体上与所述第一轴线相交的第二轴线摆动；腕凸缘，该腕凸缘设置在所述第二腕臂的末端部中并且构造成绕相对于所述第二轴线处于偏斜位置的第三轴线旋转；中间构件，该中间构件固定至所述腕凸缘；以及线缆束，该线缆束连接至固定于所述中间构件的末端执行器。所述线缆束延伸通过所述第二腕臂、所述腕凸缘以及所述中间构件并且被从所述中间构件拉出以到达所述末端执行器。



CN 102463571 B

1. 一种机器人手腕结构，该机器人手腕结构包括：

第一腕臂，该第一腕臂能绕第一轴线旋转；

第二腕臂，该第二腕臂设置在所述第一腕臂的末端部中并且构造成绕大体上与所述第一轴线相交的第二轴线摆动；

腕凸缘，该腕凸缘设置在所述第二腕臂的末端部中并且构造成绕相对于所述第二轴线处于偏斜位置的第三轴线旋转；

中间构件，该中间构件具有固定部，该固定部设有第一开口部，该固定部固定至所述腕凸缘；以及

线缆束，该线缆束连接至固定于所述中间构件的末端执行器，该线缆束延伸通过所述第二腕臂、所述腕凸缘以及所述中间构件的所述第一开口部并且被从所述中间构件拉出以到达所述末端执行器，

其中，所述中间构件还包括：

末端执行器附接部，所述末端执行器附接至该末端执行器附接部，所述中间构件具有第二开口部，引入所述第一开口部的所述线缆束通过所述第二开口部被拉出，

连接部，所述连接部将所述固定部和所述末端执行器附接部互相连接，所述第二开口部形成在所述连接部中。

2. 根据权利要求 1 所述的机器人手腕结构，其中，所述第二腕臂包括中空部，该中空部在沿着所述第三轴线的相反两端处打开，所述腕凸缘包括具有孔的旋转中央部，所述中间构件构造成限定布线路径，该布线路径的至少一端与所述腕凸缘的所述孔连通，所述线缆束沿着所述第一腕臂的侧面延伸并且穿过所述中空部、所述孔以及所述布线路径以到达所述末端执行器。

3. 根据权利要求 1 所述的机器人手腕结构，其中，从所述中间构件拉出的所述线缆束由固定装置固定就位，防止该中间构件与该线缆束接触。

4. 根据权利要求 1 至 3 中的任一项所述的机器人手腕结构，其中，所述第二腕臂包括：电机，该电机设置有绕从所述第三轴线偏移的轴线旋转的旋转轴；以及中空旋转主体，该中空旋转主体借助所述电机绕所述第三轴线旋转，所述中空旋转主体构造成驱动所述腕凸缘，所述线缆束延伸通过所述中空旋转主体。

5. 根据权利要求 1 至 3 中的任一项所述的机器人手腕结构，其中，所述第二腕臂还包括中空电机，该中空电机设置有绕所述第三轴线旋转的中空轴并且构造成经由所述中空轴驱动所述腕凸缘，所述线缆束延伸通过所述中空电机的所述中空轴。

6. 一种机器人，该机器人包括：

摆动臂；

第一腕臂，该第一腕臂设置在所述摆动臂的末端部中并且构造成绕第一轴线旋转；

第二腕臂，该第二腕臂设置在所述第一腕臂的末端部中并且构造成绕大体上与所述第一轴线相交的第二轴线摆动；

腕凸缘，该腕凸缘设置在所述第二腕臂的末端部中并且构造成绕相对于所述第二轴线处于偏斜位置的第三轴线旋转；

中间构件，该中间构件具有固定部，该固定部设有第一开口部，该固定部固定至所述腕凸缘；以及

线缆束，该线缆束延伸通过所述第二腕臂、所述腕凸缘和所述中间构件的所述第一开口部，所述线缆束被从所述中间构件拉出，

其中，所述中间构件还包括：

末端执行器附接部，所述末端执行器附接至该末端执行器附接部，所述中间构件具有第二开口部，引入所述第一开口部的所述线缆束通过所述第二开口部被拉出，

连接部，所述连接部将所述固定部和所述末端执行器附接部互相连接，所述第二开口部形成在所述连接部中。

7. 一种机器人，该机器人包括：

摆动臂；

第一腕臂，该第一腕臂设置在所述摆动臂的末端部中并且构造成绕第一轴线旋转；

第二腕臂，该第二腕臂设置在所述第一腕臂的末端部中并且构造成绕大体上与所述第一轴线相交的第二轴线摆动；

腕凸缘，该腕凸缘设置在所述第二腕臂的末端部中并且构造成绕相对于所述第二轴线处于偏斜位置的第三轴线旋转；

中间构件，该中间构件具有固定部，该固定部设有第一开口部，该固定部固定至所述腕凸缘；以及

线缆束，该线缆束连接至固定于所述中间构件的末端执行器，所述线缆束延伸通过所述第二腕臂、所述腕凸缘和所述中间构件的所述第一开口部，所述线缆束被从所述中间构件拉出以到达所述末端执行器，

其中，所述中间构件还包括：

末端执行器附接部，所述末端执行器附接至该末端执行器附接部，所述中间构件具有第二开口部，引入所述第一开口部的所述线缆束通过所述第二开口部被拉出，

连接部，所述连接部将所述固定部和所述末端执行器附接部互相连接，所述第二开口部形成在所述连接部中。

机器人手腕结构和机器人

技术领域

[0001] 本发明涉及一种机器人手腕结构和机器人。

背景技术

[0002] 日本专利 No. 4099628 公开了一种工业机器人，其中，末端执行器附接至设置在臂的末端处的手腕单元的末端，并且用于将动力、信号或材料供给到末端执行器的线缆布置成从臂延伸到末端执行器。在该工业机器人中，末端执行器通过中间构件固定至手腕单元。中间构件包括：第一凸缘，该第一凸缘直接附接至手腕单元；第二凸缘，该第二凸缘以与第一凸缘平行间隔开的关系布置并且直接附接至末端执行器；以及连接构件，该连接构件用于使第一凸缘和第二凸缘在与该第一凸缘和第二凸缘的旋转轴线间隔开的位置处互相连接，使得在第一凸缘和第二凸缘之间可以保证用于线缆通过的空间。线缆与第一凸缘和第二凸缘的旋转轴线交叉着延伸通过第一凸缘和第二凸缘之间的空间，第一凸缘和第二凸缘的旋转轴线与手腕单元的末端轴同轴。

发明内容

[0003] 本发明提供一种机器人手腕结构和机器人，该机器人手腕结构和机器人能够减少它们与外围设备的干涉。

[0004] 根据本发明的第一方面，提供一种机器人手腕结构，该机器人手腕结构包括：第一腕臂，该第一腕臂能绕第一轴线旋转；第二腕臂，该第二腕臂设置在所述第一腕臂的末端部中并且构造成绕大体上与所述第一轴线相交的第二轴线摆动；腕凸缘，该腕凸缘设置在所述第二腕臂的末端部中并且构造成绕相对于所述第二轴线处于偏斜位置的第三轴线旋转；中间构件，该中间构件固定至所述腕凸缘；以及线缆束，该线缆束连接至固定于所述中间构件的末端执行器，所述线缆束延伸通过所述第二腕臂、所述腕凸缘以及所述中间构件并且被从所述中间构件拉出以到达所述末端执行器。

[0005] 所述第二腕臂可以包括在沿着所述第三轴线的相反两端处打开的中空部，所述腕凸缘可以包括具有孔的旋转中央部，所述中间构件可以构造成限定布线路径，该布线路径的至少一端与所述腕凸缘的所述孔连通，所述线缆束可以沿着所述第一腕臂的侧面延伸并且穿过所述中空部、所述孔以及所述布线路径以到达所述末端执行器。

[0006] 所述中间构件可以包括：固定部，该固定部设置有第一开口部并且固定至所述腕凸缘；以及末端执行器附接部，所述末端执行器附接至该末端执行器附接部，所述中间构件具有第二开口部，被引入所述第一开口部的所述线缆束通过所述第二开口部被拉出。

[0007] 被从所述中间构件拉出的所述线缆束可以由固定装置固定就位，防止该中间构件与该线缆束接触。

[0008] 所述第二腕臂可以包括：电机，该电机设置有绕从所述第三轴线偏移的轴线旋转的旋转轴；以及中空旋转主体，该中空旋转主体借助所述电机绕所述第三轴线旋转，所述中空旋转主体构造成驱动所述腕凸缘，所述线缆束延伸通过所述中空旋转主体。

[0009] 所述第二腕臂还可以包括中空电机，该中空电机设置有绕所述第三轴线旋转的中空轴并且构造成经由所述中空轴驱动所述腕凸缘，所述线缆束延伸通过所述中空电机的所述中空轴。

[0010] 根据本发明的第二方面，提供一种机器人，该机器人包括：摆动臂；第一腕臂，该第一腕臂设置在所述摆动臂的末端部中并且构造成绕第一轴线旋转；第二腕臂，该第二腕臂设置在所述第一腕臂的末端部中并且构造成绕大体上与所述第一轴线相交的第二轴线摆动；腕凸缘，该腕凸缘设置在所述第二腕臂的末端部中并且构造成绕相对于所述第二轴线处于偏斜位置的第三轴线旋转；中间构件，该中间构件固定至所述腕凸缘；以及线缆束，该线缆束延伸通过所述第二腕臂、所述腕凸缘和所述中间构件，所述线缆束被从所述中间构件拉出。

[0011] 根据本发明的第三方面，提供一种机器人，该机器人包括：摆动臂；第一腕臂，该第一腕臂设置在所述摆动臂的末端部中并且构造成绕第一轴线旋转；第二腕臂，该第二腕臂设置在所述第一腕臂的末端部中并且构造成绕大体上与所述第一轴线相交的第二轴线摆动；腕凸缘，该腕凸缘设置在所述第二腕臂的末端部中并且构造成绕相对于所述第二轴线处于偏斜位置的第三轴线旋转；中间构件，该中间构件固定至所述腕凸缘；以及线缆束，该线缆束连接至固定于所述中间构件的末端执行器，所述线缆束延伸通过所述第二腕臂、所述腕凸缘以及所述中间构件，所述线缆束被从所述中间构件拉出并且布置成到达所述末端执行器。

[0012] 通过这种构造，可以减少它们与外围设备的干涉。

附图说明

[0013] 从结合附图给出的下列优选实施方式的描述中将清楚本发明的目的和特征，其中：

[0014] 图 1A 至 1C 分别是根据本发明的一个实施方式的机器人的侧视图、平面图以及前视图；

[0015] 图 2 是机器人的结构视图；

[0016] 图 3A 至 3C 分别是示出机器人的手腕单元的内部结构的侧视图、平面图以及前视图；

[0017] 图 4A 是描绘机器人的中间构件的立体图；

[0018] 图 4B 是用于说明形成在机器人的中间构件中的第二开口部的视图；以及

[0019] 图 4C 是描绘机器人的中间构件的另一个实施例的立体图。

具体实施方式

[0020] 为了理解本发明，现在将参照形成发明的一部分的附图描述本发明的一个实施方式。在相应的附图中，有时存在与描述无关的那些部分未被示出的情况。

[0021] 参看图 1A 至 1C，根据本发明的一个实施方式的点焊机器人 10（机器人的一个实施例）包括基座 12、旋转单元 14、下臂 16、上臂 18 以及手腕单元 20。点焊机器人 10 还包括设置在手腕单元 20 的末端处的点焊枪（末端执行器的一个实施例）22，并且能执行点焊作业。点焊机器人 10 例如是六轴工业机器人（具有关节轴 J1 至 J6）。

[0022] 关节轴 J1 布置成和供安装点焊机器人 10 的安装面相交。关节轴 J2 布置成大体上平行于安装面。关节轴 J3 布置成大体上平行于关节轴 J2。关节轴 J4(第一轴线的一个实施例)布置成与关节轴 J1 相交。本文所用的术语“相交”可以不是严格意义上的相交。换言之,术语“相交”旨在意味着在设计和制造中的误差许可的情况下的“大体上相交”(该定义在下列描述中同样适用)。关节轴 J5(第二轴线的一个实施例)布置成与关节轴 J4 相交。关节轴 J6(第三轴线的一个实施例)布置成与关节轴 J4 相交。关节轴 J6 不与关节轴 J5 相交并且当在侧视图或平面图(见图 1A 和图 1B)中观看点焊机器人 10 时关节轴 J6 偏移距离 D。换言之,关节轴 J5 和 J6 相对于彼此处于偏斜位置。

[0023] 基座 12 固定至用于安装点焊机器人 10 的安装面。旋转单元 14 可旋转地设置在基座 12 上并且能绕关节轴 J1(旋转轴)旋转。旋转单元 14 由第一伺服电机 SM1 驱动(见图 1C)。

[0024] 下臂 16 具有基端部,该基端部支撑在旋转单元 14 上以能绕关节轴 J2 旋转。因此,下臂 16 能沿前后方向(图 1A 中的左右方向)摆动。下臂 16 由第二伺服电机 SM2 驱动。

[0025] 上臂 18 具有基端部,该基座端部支撑在下臂 16 的末端部上以能绕关节轴 J3 旋转。因此,上臂 18 能沿上下方向摆动。上臂 18 由第三伺服电机 SM3 驱动(见图 2)。

[0026] 手腕单元 20 附接至上臂 18 的末端部。稍后将详细描述手腕单元 20。

[0027] 在点焊机器人 10 中布置包括第一线缆束 25a 和第二线缆束 25b 的线缆束单元 25。第一线缆束 25a 通过用 Zipper Tube(注册商标)捆扎例如连接至用于驱动上臂 18 和手腕单元 20 的第四伺服电机 SM4 和第五伺服电机 SM5 的电缆以及连接至第四伺服电机 SM4 和第五伺服电机 SM5 的编码器的电源线和信号线而构成。第二线缆束 25b 连接至点焊枪 22 和第六伺服电机 SM6 并且通过将例如多个电线等等捆扎在一起而构成。例如,第二线缆束 25b 可以通过将下列部件捆扎在一起而构成:连接至点焊枪 22 的电源线(包括地线的三根电源线);用于冷却点焊枪 22 的软管(总共四个软管);连接至用于加压点焊枪 22 的电极的伺服电机(未示出)的电源线和连接至该伺服电机的编码器的信号线;以及连接至第六伺服电机 SM6 的电源线和连接至该第六伺服电机的编码器的信号线。

[0028] 第一线缆束 25a 和第二线缆束 25b 通过形成在基座 12 的后部中的连接口 30(见图 1A)延伸到基座 12 中并且通过旋转单元 14 被拉出。

[0029] 第一线缆束 25a 在下臂 16 的侧面上与第二线缆束 25b 分离。第一线缆束 25a 被引入上臂 18 并且被连接至第四伺服电机 SM4 和第五伺服电机 SM5 以及它们的编码器。换言之,第二线缆束 25b 在下臂 16 的侧面上与第一线缆束 25a 分离并且被引入上臂 18 的线缆束导向部 35 中。在这点上,线缆束导向部 35 保持第二线缆束 25b 在其内部处于松弛状态,因此能引导第二线缆束 25b 随着手腕单元 20 绕关节轴 J4 的旋转一起移动。第二线缆束 25b 从线缆束导向部 35 出来并且沿着上臂 18 的侧面延伸。然后,第二线缆束 25b 被从手腕单元 20 的侧面引入手腕单元 20 并且被连接至点焊枪 22。

[0030] 接下来,将详细描述手腕单元 20。

[0031] 如图 3A、3B 和 3C 所示,手腕单元 20 至少包括第一腕臂 40a、第二腕臂 40b、腕凸缘 42 以及中间构件 44。

[0032] 第一腕臂 40a 设置在上臂 18 的末端部中并且能绕关节轴 J4 旋转。更具体地,第一腕臂 40a 经由延伸通过上臂 18 的中空第一驱动轴 50a 由第四伺服电机 SM4 驱动。

[0033] 第二腕臂 40b 设置在第一腕臂 40a 的末端部中并且能绕大体上平行于关节轴 J3 的关节轴 J5 旋转（摆动）。第二腕臂 40b 经由延伸通过第一驱动轴 50a 的中空部的第二驱动轴 50b 由第五伺服电机 SM5 驱动。

[0034] 第六伺服电机 SM6 设置在第二腕臂 40b 中。该第六伺服电机 SM6 具有与关节轴 J6 平行并且从该关节轴 J6 偏移的旋转轴。如图 1B 所示，当在平面图中观看时第六伺服电机 SM6 设置在关节轴 J4 的与第二线缆束 25b 相反的一侧（即，第二腕臂 40b 的一侧）。

[0035] 参看图 3C，滑轮 60 附接至第六伺服电机 SM6 的旋转轴。滑轮 60 的旋转经由正时皮带 62 被传递到中空旋转主体 65，该旋转主体 65 能绕关节轴 J6 旋转。旋转主体 65 的旋转经由齿轮 63 被传递到中空减速器 67 的输入轴 67a。

[0036] 由旋转主体 65 的中空部和减速器 67 的中空部在第二腕臂 40b 中限定腕臂孔部 64，该腕臂孔部 64 沿着关节轴 J6 延伸并且在其相反两端处打开。

[0037] 腕凸缘 42 是例如设置在第二腕臂 40b 的末端部中的盘形构件。腕凸缘 42 在其旋转中央部中形成有孔 68。腕凸缘 42 固定至减速器 67 的输出轴并且能绕关节轴 J6 旋转。减速器 67 是例如 RV 减速器。因为腕凸缘 42 由设置在第二腕臂 40b 中的第六伺服电机 SM6 驱动，所以本机器人与传统机器人相比结构简单且非常可靠，在传统机器人中关节轴 J4 至 J6 由延伸通过上臂的同心三轴线的轴驱动。

[0038] 延伸通过腕臂孔部 64 的中空轴 66 的一端固定至腕凸缘 42 的旋转中央部。因此，腕凸缘 42 和中空轴 66 随着第六伺服电机 SM6 的旋转一起旋转。

[0039] 中间构件 44 固定至腕凸缘 42。如图 3C 和 4A 所示，布线路径被限定在中间构件 44 中，该布线路径在一端打开以与腕凸缘 42 的孔 68 连通并且在另一端沿与关节轴 J6 的方向不同的方向打开。第二线缆束 25b 能延伸通过布线路径。更具体地，中间构件 44 包括：固定部 72，该固定部 72 固定至腕凸缘 42 并且设有第一开口部 70a；和末端执行器附接部 74，点焊枪 22 附接至该末端执行器附接部 74。固定部 72 和末端执行器附接部 74 借助连接部 76 互相连接。中间构件 44 具有第二开口部 70b，引入第一开口部 70a 的第二线缆束 25b 通过该第二开口部 70b 被拉出到外面。第二开口部 70b 如图 4A 所示优选地形成在连接部 76 中但不是必需形成在连接部 76 中。另选地，如图 4B 所示，除了形成在连接部 76 中的开口部之外的开口部 70c 可以用作第二开口部。如图 4C 所示，除了第一开口部 70a 和第二开口部 70b 以外，中间构件 44 可以不具有开口。中间构件 44 可以具有任何形状，例如如图 4C 所示的立方体形状。在中间构件 44 中，固定部 72 的面向腕凸缘 42 的表面不必总是平行于末端执行器附接部 74 的供附接点焊枪 22 的表面。

[0040] 限定在中间构件 44 中的布线路径的至少一端需要被打开以与腕凸缘 42 的孔 68 连通。布线路径的另一端可以任意地朝外面打开，使得第二线缆束 25b 能被拉出到外面。

[0041] 参看图 3B，从上臂 18 的线缆束导向部 35 延伸的第二线缆束 25b 由固定装置 80a 和 80b 固定就位。当在平面图中观看时，第二线缆束 25b 沿着第一腕臂 40a 和第二腕臂 40b 的侧面布置（见图 3B）。第二线缆束 25b 被引入中空轴 66 并且延伸通过中间构件 44 的第一开口部 70a。然后，第二线缆束 25b 通过中间构件 44 的第二开口部 70b 被拉出到外面并且被连接至点焊枪 22 的连接口 82（见图 1A）。因为第二线缆束 25b 延伸通过第二腕臂 40b、腕凸缘 42 和中间构件 44（即，通过腕臂孔部 64、孔 68 以及布线路径），所以可以减少第二线缆束 25b 与外围设备干涉的可能性。

[0042] 参看图 3C，中间构件 44 设置有固定装置 86。第二线缆束 25b 在正好位于第二开口部 70b 外面的位置处由固定装置 86 固定就位。另选地，固定装置 86 可以设置在中间构件 44 内或点焊枪 22 中。仅必要的是，当腕凸缘 42 绕关节轴 J6 旋转时，固定装置 86 能阻止第二线缆束 25b 与中间构件 44（尤其是，第二开口部 70b 周围的区域）接触。

[0043] 虽然附图中未示出，但是连接至第六伺服电机 SM6 的线缆 88a 和连接至该第六伺服电机的编码器的线缆 88b（见图 3A 和 3B）被在固定至第二腕臂 40b 的固定装置 80b 和中空轴 66 的上端部之间从第二线缆束 25b 拉出。

[0044] 在根据本实施方式的点焊机器人 10 中，第一线缆束 25a 和第二线缆束 25b 如上所述布置。第二线缆束 25b 主要由线缆束导向部 35 引导。手腕单元 20 总体上能绕关节轴 J4 旋转。第二线缆束 25b 在固定装置 80a 和 80b 之间弯曲，从而允许第二腕臂 40b 绕关节轴 J5 旋转。第二线缆束 25b 在中空轴 66 和中间构件 44 内扭曲，由此点焊枪 22 能绕关节轴 J6 旋转。

[0045] 根据本实施方式，当点焊枪 22 绕关节轴 J6 旋转时，第二线缆束 25b 的在中间构件 44 和点焊枪 22 的连接口 82 之间延伸的部分随点焊枪 22 和中间构件 44 一起旋转。这有助于阻止第二线缆束 25b 与点焊机器人 10 的手腕单元 20 或中间构件 44 干涉。这消除了大至足以断开第二线缆束 25b 的负荷被施加于该第二线缆束 25b 的可能性。

[0046] 另外，关节轴 J5 和 J6 相对于彼此处于偏斜位置。因此，与关节轴 J5 和 J6 彼此相交的情况相比，当第二腕臂 40b 绕关节轴 J5 旋转时，阻止了第二线缆束 25b 与上臂 18（或第一腕臂 40a）干涉。这有助于增大第二腕臂 40b 绕关节轴 J5 的操作范围。

[0047] 本发明不限于前述实施方式，而是在不脱离发明的范围和精神的情况下可以被修改。例如，前述实施方式和其修改可以部分或全部地组合。这些组合应被解释为落在本发明的范围内。

[0048] 虽然点焊机器人 10 已经被视为前述实施方式中的一实施例，但是本发明不限于点焊机器人 10 而是可以应用于弧焊机器人、涂漆机器人、密封机器人、磨削机器人、操作机器人以及其它机器人。换言之，末端执行器可以是气焊枪、喷涂枪、密封喷嘴、磨削工具或机械手。第二线缆束 25b 可以是管道线缆、油漆供应软管、密封剂供应软管、用于气动驱动工具的空气软管，用于电力工具的电力线或其组合。

[0049] 在前述实施方式中，第二腕臂 40b 的中空轴 66 固定至腕凸缘 42 并且通过正时皮带 62 由第六伺服电机 SM6 驱动，该第六伺服电机 SM6 的旋转轴从关节轴 J6 偏移。另选地，腕凸缘 42 可以由中空电机直接驱动，该中空电机具有绕关节轴 J6 旋转的中空轴。换言之，腕凸缘 42 可以固定至中空电机的中空轴的一端并且由该中空电机驱动。在该情况下，第二线缆束 25b 延伸通过中空电机的中空轴。

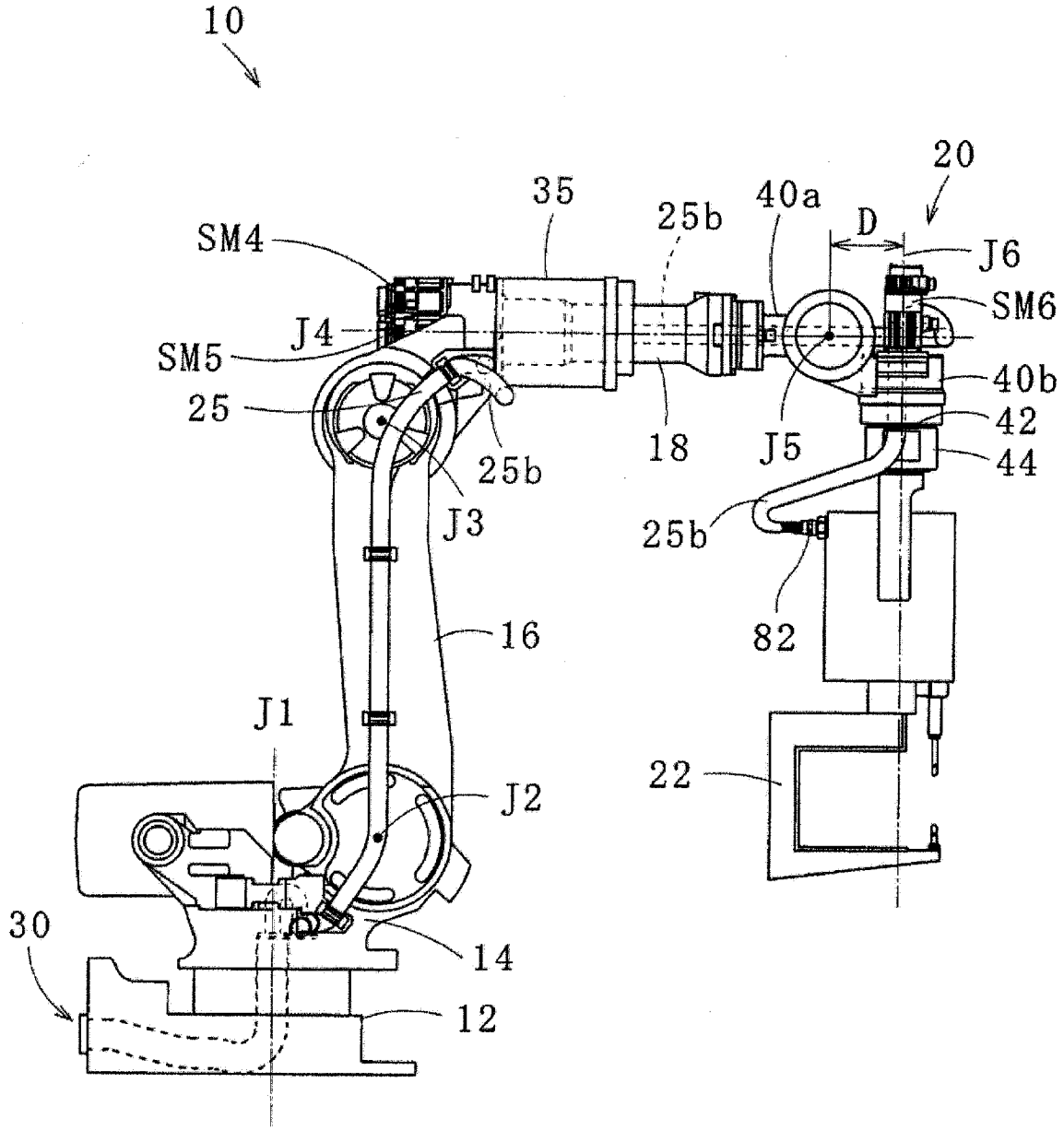

10
20
35
25b
40a
D
J6
SM4
SM6
J4
SM5
40b
25
42
18
J5
44
25b
J3
25b
82
16
J1
22
J2
30
14
12

图 1A

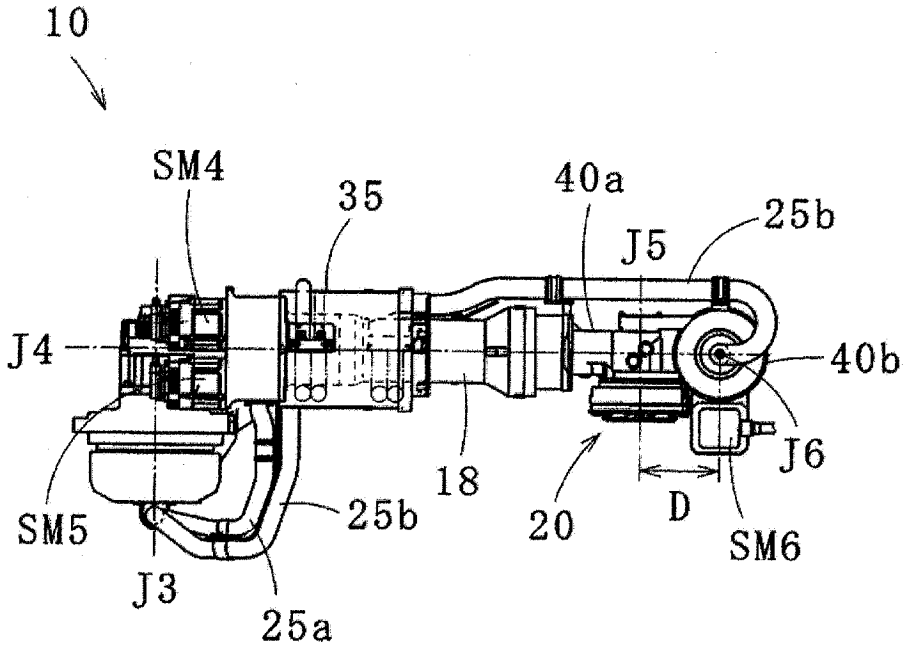


图 1B

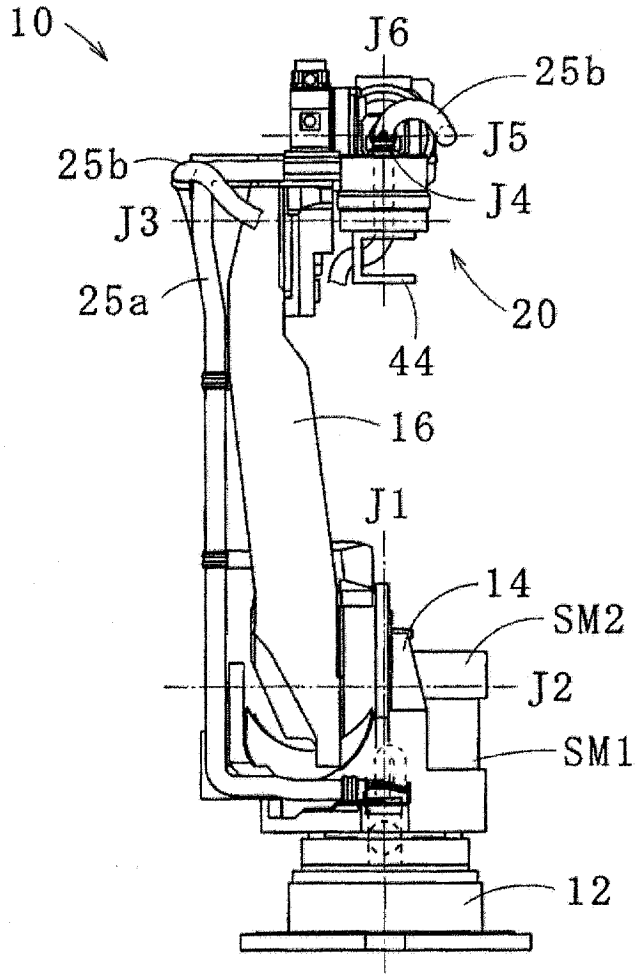


图 1C

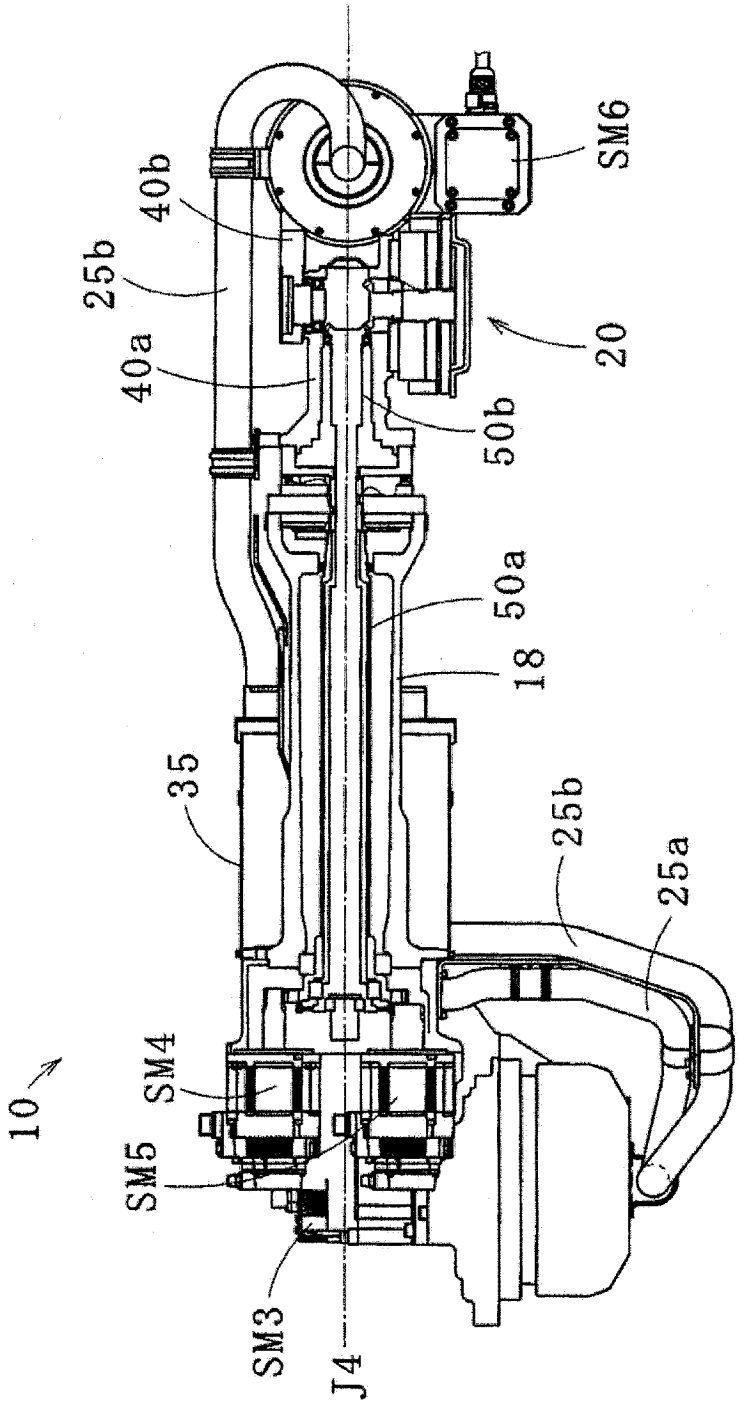


图 2

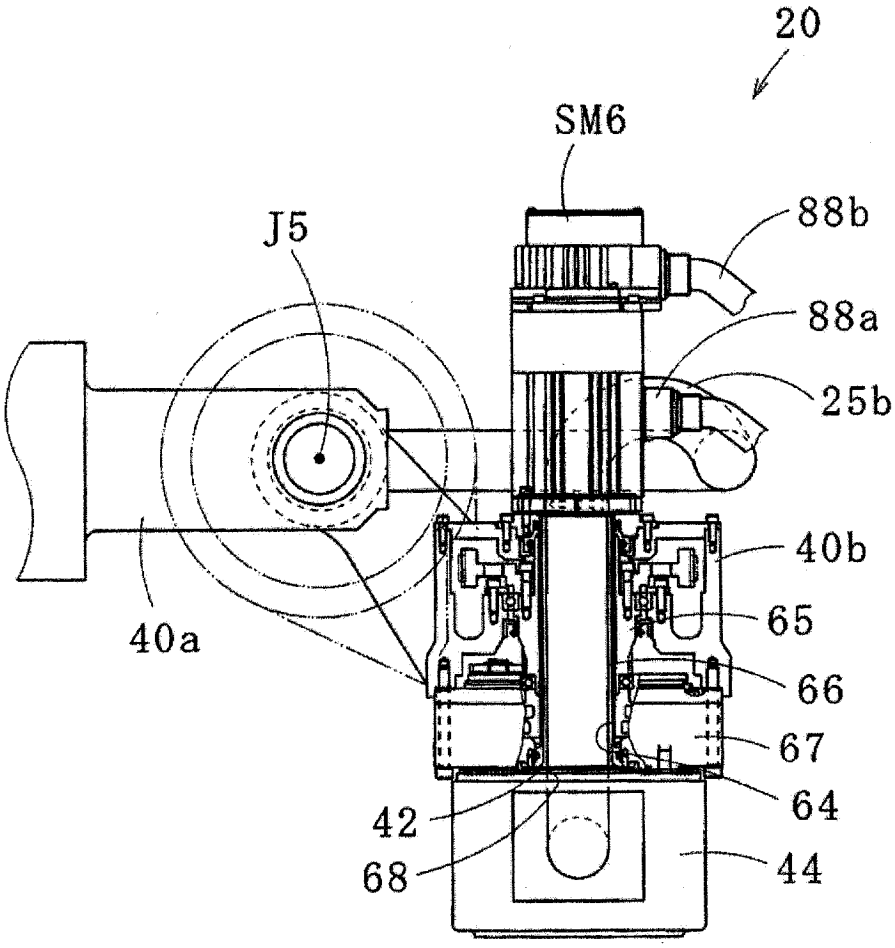


图 3A

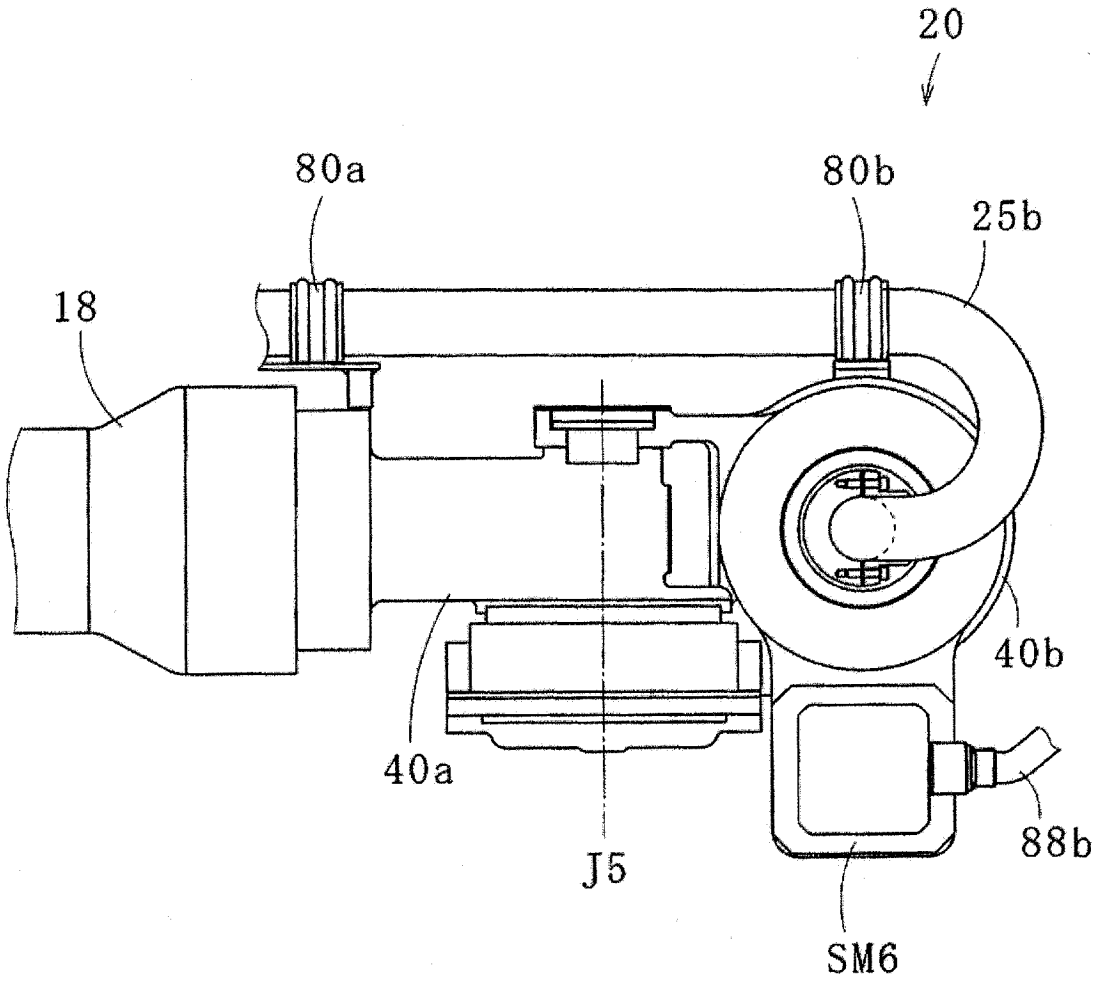


图 3B

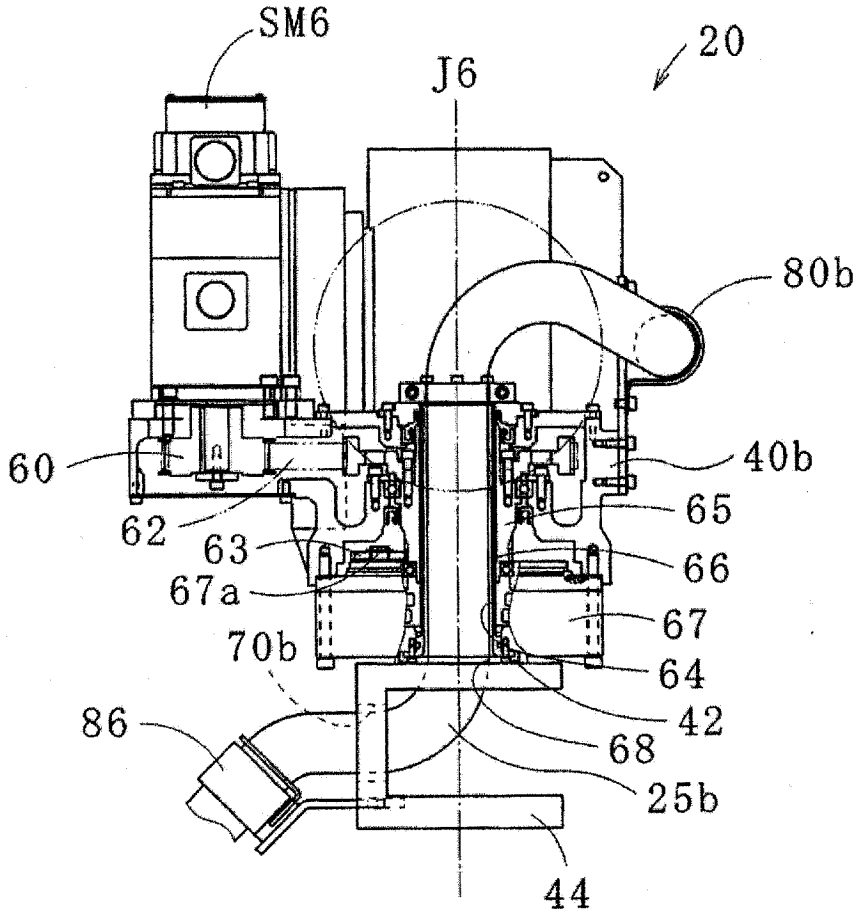


图 3C

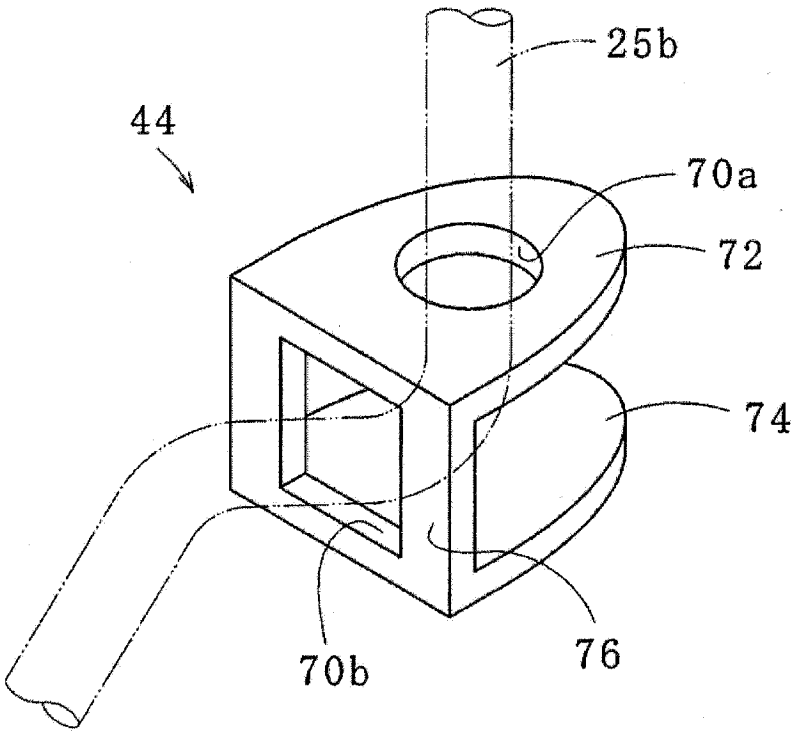


图 4A

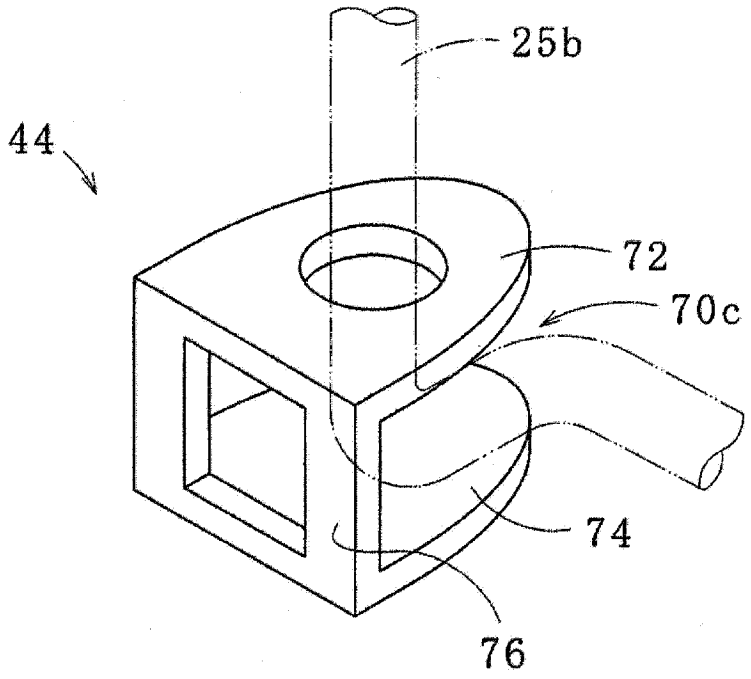


图 4B

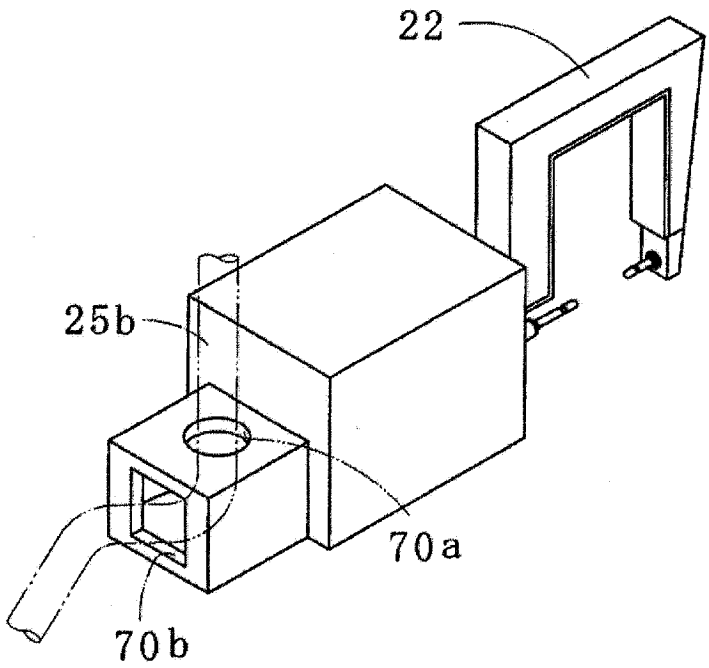


图 4C