



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 107614079 B

(45)授权公告日 2020.04.28

(21)申请号 201680033470.5

(22)申请日 2016.04.07

(65)同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 107614079 A

(43)申请公布日 2018.01.19

(30)优先权数据
62/145837 2015.04.10 US

(85)PCT国际申请进入国家阶段日
2017.12.08

(86)PCT国际申请的申请数据
PCT/US2016/026386 2016.04.07

(87)PCT国际申请的公布数据
W02016/164544 EN 2016.10.13

(73)专利权人 沃特世科技公司
地址 美国麻萨诸塞州

(72)发明人 M.R.杰克逊 C.赛思 N.巴雷特
K.奥唐奈 N.B.阿尔梅达 W.卢

J.E.尤索维茨 M.索克 K.D.朱里
J.A.什里夫

(74)专利代理机构 中国专利代理(香港)有限公
司 72001

代理人 董均华 傅永霄

(51)Int.Cl.
B01D 15/08(2006.01)
B01D 15/18(2006.01)
G01N 30/30(2006.01)

(56)对比文件
WO 2012122361 A2,2012.09.13,全文.
US 4990250 A,1991.02.05,全文.
CN 104508274 A,2015.04.08,全文.
CN 103558322 A,2014.02.05,全文.
CN 203809238 U,2014.09.03,全文.
CN 103619433 A,2014.03.05,全文.
US 2011259822 A1,2011.10.27,全文.

审查员 许远平

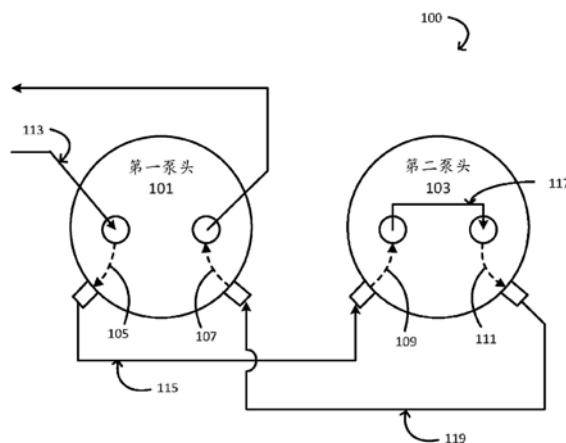
权利要求书3页 说明书7页 附图7页

(54)发明名称

二氧化碳色谱系统中泵头的冷却

(57)摘要

本公开提供了用于冷却泵头并且在多个泵头之间提供均衡的冷却和热传递的方法、系统和装置。用于泵送密度随着微小温度变化而极大变化的流体,诸如基于CO₂的色谱系统的所述移动相的多泵系统需要高度稳定的温度条件。为了实现多个泵头和冷却剂流体之间的基本上相等的平均热传递,冷却剂流体可以递归和/或并联的冷却剂流动模式流过所述泵头内的冷却剂通道。此类递归和/或并联的冷却剂流体流动模式提供了穿过多泵系统的所述流体的温度、可压缩性和密度的增加的稳定性。



1. 一种泵头冷却系统,包括:

第一泵头,所述第一泵头限定第一冷却剂通道和第二冷却剂通道,每个通道具有进入所述第一泵头的入口和离开所述第一泵头的出口;和

第二泵头,所述第二泵头限定第三冷却剂通道和第四冷却剂通道,每个通道具有进入所述第二泵头的入口和离开所述第二泵头的出口;

其特征在于,所述第一冷却剂通道的所述出口流体联接到所述第三冷却剂通道的所述入口,所述第三冷却剂通道的所述出口流体联接到所述第四冷却剂通道的所述入口,并且所述第四冷却剂通道的所述出口流体联接到所述第二冷却剂通道的所述入口。

2. 根据权利要求1所述的泵头冷却系统,其中所述第一泵头和所述第二泵头由不锈钢构成。

3. 根据权利要求1所述的泵头冷却系统,其中所述第一泵头和所述第二泵头适于以介于0.50-150.00mL/min之间的流速操作。

4. 根据权利要求1所述的泵头冷却系统,其中所述第一泵头和所述第二泵头适于在最高达50MPa的压力下操作。

5. 根据权利要求1所述的泵头冷却系统,还包括冷却剂泵,所述冷却剂泵适于将冷却剂流体泵送通过所述第一冷却剂通道、所述第二冷却剂通道、所述第三冷却剂通道和所述第四冷却剂通道。

6. 根据权利要求5所述的泵头冷却系统,还包括流体冷却器,所述流体冷却器适于在将所述冷却剂流体泵送通过所述第一冷却剂通道之前冷却冷却剂流体。

7. 根据权利要求1所述的泵头冷却系统,还包括:

第一冷却剂管,所述第一冷却剂管适于将所述第一冷却剂通道的所述出口流体联接到所述第三冷却剂通道的所述入口;

第二冷却剂管,所述第二冷却剂管适于将所述第三冷却剂通道的所述出口流体联接到所述第四冷却剂通道的所述入口;和

第三冷却剂管,所述第三冷却剂管适于将所述第四冷却剂通道的所述出口流体联接到所述第二冷却剂通道的所述入口。

8. 一种泵头冷却系统,包括:

第一泵头,所述第一泵头限定第一冷却剂通道和第二冷却剂通道,每个通道具有进入所述第一泵头的入口和离开所述第一泵头的出口,并且其中所述第一冷却剂通道的所述出口流体联接到所述第二冷却剂通道的所述入口;

第二泵头,所述第二泵头限定第三冷却剂通道和第四冷却剂通道,每个通道具有进入所述第二泵头的入口和离开所述第二泵头的出口,并且其中所述第三冷却剂通道的所述出口流体联接到所述第四冷却剂通道的所述入口;和

其特征在于,至少一个冷却剂泵,所述至少一个冷却剂泵适于将第一冷却剂流体料流泵送通过所述第一泵头并且将第二冷却剂流体料流泵送通过所述第二泵头,使得所述第一泵头和所述第一冷却剂流体料流之间的平均热传递基本上等于所述第二泵头和所述第二冷却剂流体料流之间的平均热传递。

9. 根据权利要求8所述的系统,还包括具有一个入口和两个出口的第一流体连接器,其中第一出口流体联接到所述第一冷却剂通道的入口,并且第二出口流体联接到所述第三冷

却剂通道的入口。

10. 根据权利要求8所述的系统,还包括具有两个入口和单个出口的流体连接器,其中第一入口流体联接到所述第二冷却剂通道的出口,并且第二入口流体联接到所述第四冷却剂通道的出口。

11. 根据权利要求8所述的泵头冷却系统,还包括流体冷却器,所述流体冷却器适于冷却离开所述冷却剂泵后的所述第一冷却剂流体料流和所述第二冷却剂流体料流。

12. 根据权利要求8所述的泵头冷却系统,还包括控制系统,所述控制系统适于测量所述第一泵头的温度和所述第二泵头的温度,并且对所述泵头冷却系统施加冷却以维持所述第一泵头和所述第二泵头之间的温度差低于1.0摄氏度。

13. 一种冷却泵头的方法,其特征在于,包括:

使至少一个冷却剂流体料流沿着冷却剂流体路径通过第一泵头和第二泵头内的多个冷却剂通道流动;以及

提供所述第一泵头和所述冷却剂流体之间的平均热传递,所述平均热传递基本上等于所述第二泵头和所述冷却剂流体之间的平均热传递。

14. 根据权利要求13所述的方法,还包括将所述第一泵头和所述第二泵头之间的温度差保持在1.0摄氏度以下。

15. 根据权利要求13所述的方法,还包括将所述第一泵头和所述第二泵头之间的温度差保持在0.5摄氏度以下。

16. 根据权利要求13所述的方法,还包括将所述第一泵头和所述第二泵头之间的温度差保持在0.4摄氏度以下。

17. 根据权利要求13所述的方法,还包括在流过所述多个冷却剂通道之前冷却所述至少一个冷却剂流体料流。

18. 根据权利要求13所述的方法,其中使至少一个冷却剂流体料流流动包括:

使第一冷却剂料流流过所述第一泵头内的第一冷却剂通道;

使所述第一冷却剂料流从所述第一冷却剂通道的出口流过所述第二泵头内的第二冷却剂通道;

使所述第一冷却剂料流从所述第二冷却剂通道的出口流过所述第二泵头内的第三冷却剂通道;以及

使所述第一冷却剂流体从所述第三冷却剂通道的出口流过所述第一泵头内的第四冷却剂通道。

19. 根据权利要求13所述的方法,其中使至少一个料流流过多个冷却剂通道包括:

使第一冷却剂流体料流从冷却剂流体源流过第一泵头内的第一冷却剂通道,其中所述第一冷却剂通道具有进入所述第一泵头的入口和离开所述第一泵头的出口;

使所述第一冷却剂流体料流从所述第一冷却剂通道的所述出口流动到所述第一泵头内的第二冷却剂通道的入口,其中所述第二冷却剂通道具有进入所述第一泵头的入口和离开所述第一泵头的出口;

使来自所述冷却剂流体源的第二冷却剂流体料流流经第二泵头内的第三冷却剂通道,其中所述第三冷却剂通道具有进入所述第二泵头的入口和离开所述第二泵头的出口;以及

使所述第二冷却剂流体料流从所述第三冷却剂通道的所述出口流动到所述第二泵头

内的第四冷却剂通道的入口,其中所述第四冷却剂通道具有进入所述第二泵头的入口和离开所述第二泵头的出口;

其中在离开所述第二冷却剂通道时所述第一冷却剂流体料流与离开所述第四冷却剂通道时所述第二冷却剂流体料流之间的温度差小于1.0摄氏度。

20.根据权利要求19所述的方法,还包括将来自单个冷却剂流体源的所述冷却剂流体分离成所述第一冷却剂流体料流和所述第二冷却剂流体料流。

21.根据权利要求19所述的方法,还包括在使所述第一冷却剂流体料流流过所述第二冷却剂通道并使所述第二冷却剂流体料流流过所述第四冷却剂通道后,将所述第一冷却剂流体料流和所述第二冷却剂流体料流合并成单个料流。

二氧化碳色谱系统中泵头的冷却

[0001] 相关专利申请

[0002] 本申请要求于2015年4月10日提交的标题为“Cooling of Pump Heads in Carbon Dioxide Chromatography Systems”(二氧化碳色谱系统中泵头的冷却)的美国临时专利申请序列号62/145,837的优先权,其全文以引用方式并入本文。

技术领域

[0003] 本公开涉及二氧化碳色谱系统中泵头的冷却技术。本公开还涉及用于从至少两个泵头中的每一个泵头提供基本上相同的热传递的方法、系统和装置。

背景技术

[0004] 通常,多个泵可以并联或串联方式布置以在流体色谱系统中泵送流体。色谱法涉及移动相在固定相上流动以实现分离。为了加快和提高分离效率,引进了加压移动相。基于二氧化碳的色谱系统使用CO₂作为移动相流动料流的组分,并且基于CO₂的移动相从泵递送并作为加压流体被输送通过分离柱。在使用CO₂作为移动相组分的系统中,一个挑战是泵送CO₂,因为温度和/或压力的微小变化极大地改变CO₂的密度。CO₂密度的任何波动都增加可压缩性问题,使典型的可压缩性补偿方案受抑。因此,需要提供增加的温度和压力水平的稳定性和控制的色谱系统。

发明内容

[0005] 本技术的示例性实施方案涉及用于在多个泵头之间提供均衡的冷却和热传递的泵头冷却系统。此外,实施方案涉及用于泵头冷却系统的方法、系统和装置,所述泵头冷却系统采用递归或并联冷却剂流动模式以实现泵头和冷却剂流体之间基本上相等的平均热传递。尤其是,一些实施方案涉及用于冷却泵头的流体冷却系统,该泵头用于基于CO₂的色谱系统,即其中移动相包括CO₂的色谱系统。

[0006] 在一方面,本技术涉及泵头冷却系统。该系统包括限定第一冷却剂通道和第二冷却剂通道的第一泵头,每个通道具有进入第一泵头的入口和离开第一泵头的出口。该系统还包括限定第三冷却剂通道和第四冷却剂通道的第二泵头,每个通道具有进入第二泵头的入口和离开第二泵头的出口。在该系统中,第一冷却剂通道的出口流体联接到第三冷却剂通道的入口,第三冷却剂通道的出口流体联接到第四冷却剂通道的入口,并且第四冷却剂通道的出口流体联接到第二冷却剂通道的入口。

[0007] 本技术该方面的实施方案可以包括以下特征中的一个或多个。在一些实施方案中,第一泵头和第二泵头由不锈钢构成,或部分由不锈钢构成。在一些实施方案中,第一泵头和第二泵头适于以0.50-150.00mL/min的流速操作。在一些实施方案中,第一泵头和第二泵头适于在最高达50MPa的压力下操作。在一些实施方案中,系统还包括适于将冷却剂流体泵送通过第一冷却剂通道、第二冷却剂通道、第三冷却剂通道和第四冷却剂通道的冷却剂泵。在一些实施方案中,系统还包括流体冷却器,其适于在将冷却剂流体泵送通过第一冷却

剂通道之前冷却冷却剂流体。在一些实施方案中,系统还包括:适于将第一冷却剂通道的出口流体联接到第三冷却剂通道的入口的第一冷却剂管、适于将第三冷却剂通道的出口流体联接到第四冷却剂通道的入口的第二冷却剂管,和适于将第四冷却剂通道的出口流体联接到第二冷却剂通道的入口的第三冷却剂管。

[0008] 根据另一方面,本技术涉及泵头冷却系统。该系统包括限定第一冷却剂通道和第二冷却剂通道的第一泵头,每个通道具有进入第一泵头的入口和离开第一泵头的出口,并且其中第一冷却剂通道的出口流体联接到第二冷却剂通道的入口。该系统还包括限定第三冷却剂通道和第四冷却剂通道的第二泵头,每个通道具有进入第二泵头的入口和离开第二泵头的出口,并且其中第三冷却剂通道的出口流体联接到第四冷却剂通道的入口。该系统还包括至少一个冷却剂泵,其适于将第一冷却剂流体料流泵送通过第一泵头并且将第二冷却剂流体料流泵送通过第二泵头,使得第一泵头和第一冷却剂流体料流之间的平均热传递基本上等于第二泵头和第二冷却剂流体料流之间的平均热传递。

[0009] 本技术该方面的实施方案可以包括以下特征中的一个或多个。在一些实施方案中,系统还包括具有一个入口和两个出口的第一流体连接器,其中第一出口流体联接到第一冷却剂通道的入口,并且第二出口流体联接到第三冷却剂通道的入口。在一些实施方案中,系统还包括具有两个入口和单个出口的流体连接器,其中第一入口流体联接到第二冷却剂通道的出口,并且第二入口流体联接到第四冷却剂通道的出口。在一些实施方案中,系统还包括流体冷却器,其适于冷却离开冷却剂泵后的第一冷却剂流体料流和第二冷却剂流体料流。在一些实施方案中,系统还包括控制系统,其适于测量第一泵头的温度和第二泵头的温度,并且将冷却应用于泵头冷却系统以保持第一泵头和第二泵头之间的温度差低于1.0摄氏度。

[0010] 根据另一方面,本技术涉及冷却泵头的方法。该方法包括使至少一个冷却剂流体料流沿着冷却剂流体路径通过第一泵头和第二泵头内的多个冷却剂通道流动。该方法还包括提供第一泵头和冷却剂流体之间的平均热传递,该平均热传递基本上等于第二泵头和冷却剂流体之间的平均热传递。

[0011] 以上方面的实施方案可以包括以下特征中的一个或多个。在一些实施方案中,该方法还包括将第一泵头和第二泵头之间的温度差维持在1.0摄氏度以下。在一些实施方案中,该方法还包括将第一泵头和第二泵头之间的温度差维持在0.5摄氏度以下。在一些实施方案中,将第一泵头和第二泵头之间的温度差维持在0.4摄氏度以下。在一些实施方案中,该方法还包括在流过多个冷却剂通道之前冷却至少一个冷却剂流体料流。在一些实施方案中,使至少一个冷却剂流体料流流动包括:使第一冷却剂料流流过第一泵头内的第一冷却剂通道,使第一冷却剂料流从第一冷却剂通道的出口流过第二泵头内的第二冷却剂通道,使第一冷却剂料流从第二冷却剂通道的出口流过第二泵头内的第三冷却剂通道,和使第一冷却剂流体从第三冷却剂通道的出口流过第一泵头内的第四冷却剂通道。在一些实施方案中,使至少一个料流流过多个冷却剂通道包括:使第一冷却剂流体料流从冷却剂流体源流过第一泵头内的第一冷却剂通道,其中第一冷却剂通道具有进入第一泵头的入口和从第一泵头离开的出口,使第一冷却剂流体料流从第一冷却剂通道的出口流到第一泵头内的第二冷却剂通道的入口,其中第二冷却剂通道具有进入第一泵头的入口和从第一泵头离开的出口,使第二冷却剂流体料流从冷却剂流体源流过第二泵头内的第三冷却剂通道,其中第三

冷却剂通道具有进入第二泵头的入口和从第二泵头离开的出口,和使第二冷却剂流体料流从第三冷却剂通道的出口流到第二泵头内的第四冷却剂通道的入口,其中第四冷却剂通道具有进入第二泵头的入口和从第二泵头离开的出口,其中在离开第二冷却剂通道时的第一冷却剂流体料流和在离开第四冷却剂通道时的第二冷却剂流体料流的温度差小于1.0摄氏度。在一些实施方案中,该方法还包括将冷却剂流体从单个冷却剂流体源分离成第一冷却剂流体料流和第二冷却剂流体料流。在一些实施方案中,该方法还包括在使第一料流流过第二冷却剂通道并使第二料流流过第四冷却剂通道后,将第一冷却剂流体料流和第二冷却剂流体料流合并成单个料流。

[0012] 本公开提供了优于当前方法、系统和装置的许多优点。例如,在泵头之间提供均衡的平均热传递将导致由泵所泵送的流体,特别是高度可压缩流体(诸如CO₂或氟利昂)的更稳定的可压缩性和密度特性。这种在温度、可压缩性和密度方面的提高的稳定性在其中CO₂的密度基于温度变化极大的基于CO₂的色谱系统中特别有用。

附图说明

[0013] 当与附图一起阅读时,将从以下对示例性实施方案的描述中更全面地理解本公开提供的前述和其它特征和优点,其中:

[0014] 图1示出根据本公开的一个实施方案的示例性递归泵头冷却系统。

[0015] 图2示出适于根据本公开的另一个实施方案的示例性递归泵头冷却系统。

[0016] 图3示出适于根据本公开的另一个实施方案的示例性并联泵头冷却系统。

[0017] 图4示出适于根据本公开的另一个实施方案的示例性并联泵头冷却系统。

[0018] 图5示出适于根据本公开的一个实施方案的示例性泵头冷却系统的框图。

[0019] 图6是根据本公开的一个实施方案的用于在冷却剂流体和至少两个泵头之间提供基本上相等的热传递的示例性方法的流程图。

[0020] 图7是根据本公开的实施方案的用于冷却泵头的示例性方法的流程图。

具体实施方式

[0021] 本文提供了用于冷却泵头以在泵头之间提供均衡的热传递水平的方法、系统和装置。在色谱系统中,移动相通常以串联或并联方式使用多个泵递送。基于CO₂的色谱系统与其它形式的色谱的不同之处在于移动相包括CO₂。通常,CO₂或CO₂混合物(例如与溶剂诸如甲醇混合的CO₂)以超临界或接近超临界流体状态使用,并且必须保持适当的温度和压力水平。在泵送移动相时,泵头本身可以被冷却以防止移动相的加热,这可能导致CO₂密度不期望的变化。因为含有CO₂的移动相在不同温度下的密度差异很大,因此维持泵间温度一致很重要。可以通过使用在多泵系统内与每个泵头接触的给定温度的热交换流体或冷却剂来降低多个泵头之间的温度差。这可以通过使冷却剂流体以并联或递归流动模式流过每个泵头内的通道来实现。

[0022] 为了降低多个泵头之间的温度差,公开了均衡的冷却系统,其提供在每个泵头和冷却剂流体之间基本上相等的平均热传递。如本文所提供的,冷却剂流体以并联或递归模式流过每个泵头内的多个冷却剂通道,以便为每个泵头提供均衡的冷却,并且防止由每个泵头泵送的移动相流体之间的密度差。

[0023] 在递归冷却剂流动模式中,冷却剂流体首先通过第一泵头内的冷却剂通道,然后通过第二泵头内的冷却剂通道,以提供泵之间的温度的新颖均衡,该平衡提供在用于流体系统中的多个泵之间的基本上相等的热传递。由于冷却剂流体在其最初通过第一泵头时处于其最冷的温度,然后在将冷却剂流体通过第一泵头内的第二冷却剂通道(第一泵头包括第一冷却剂通道和第二冷却剂通道)前将其转移到第二泵头。因此,第一泵头在其最冷和最暖的温度下与冷却剂流体接触,而第二泵头在中间温度阶段与冷却剂流体接触,从而在两个泵头之间提供更均衡的冷却效果。如将理解的,递归流动模式可以用三个、四个或任何数量的泵头来实现。

[0024] 在根据本技术的并联冷却剂流动模式中,冷却剂流体被分成两个基本上相等温度的不同的冷却剂流体料流,每个冷却剂流体料流被引导通过第一泵头或第二泵头内的冷却剂通道。在其它实施方案中,均衡的泵头冷却系统可以包括将冷却剂流体分成两个冷却剂流体料流,每个冷却剂流体料流用于递归地冷却两个或更多个泵头。因此,两个或更多个递归冷却模式可以并联连接。如将理解的,可以实现并联和/或递归冷却剂流动模式的任何数量的组合,并且本公开不旨在限于任何特定构造、泵头数量或冷却剂流体料流的数量。

[0025] 在一些实施方案中,与移动相接触的泵头材料可以包括例如不锈钢、蓝宝石、超高分子量聚乙烯(UHMWPE)、红宝石、乙烯四氟乙烯(ETFE)、陶瓷、氟碳聚合物、聚醚醚酮(PEEK)或其它合适的材料。在一些实施方案中,泵头可以具有在约0.50-150.00mL/min之间的流速范围。在其它实施方案中,流速可以高达350mL/min。在一些实施方案中,流速可以用低至0.01mL/min的增量来调节。在一些实施方案中,泵可以在高达50MPa的压力下操作。在一个具体示例中,泵可以是二元梯度模块(BGM) 2545泵,该泵可以用作制备型或分析型色谱系统的主要溶剂递送装置。此类泵可以为分析型和制备型色谱系统提供平稳的无脉冲流动。

[0026] 下表1提供了在环境温度(23°C)下操作并使用设置为4°C的Thermo Scientific[™] RTE 7冷藏式浴型冷却器冷却的双泵系统的测试结果。在该示例中,两个被称为右泵头和左泵头的泵头通过使冷却剂流体以串联(例如,冷却剂从第一泵流通到第二泵)的递归和并联流动模式流过每个泵头内的两个位置处的流体通道而被冷却。左泵头中的第一位置处的温度表示为L1,右泵头中的第一位置处的温度表示为R1,左泵头中的第二位置处的温度表示为L2,并且右泵头中的第二位置处的温度表示为R2。

构造	温度 T1 (°C)			温度 T2 (°C)			平均值(°C)
	L1	R1	R1-L1	L2	R2	R2-L2	R-L
[0027] 串联	7.3	8.4	1.1	11.0	11.8	0.8	0.95
递归	7.3	7.6	0.3	11.1	11.5	0.4	0.35
以 Y 型连接器并联	7.5	8.1	0.6	11.3	11.6	0.3	0.45

[0028] 表1

[0029] 从表1可以看出,当使用串联冷却剂流体流动模式冷却泵头时,测得在第一位置(R1-L1)处的右泵头和左泵头之间的温度差为1.1°C,并且测得在第二位置(R2-L2)处的右泵头和左泵头之间的温度差为0.8°C。因此,右泵头和左泵头之间的平均温度差为约0.95°C,这可能导致两个泵头之间基于CO₂的移动相的密度存在显著差异。

[0030] 相比之下,当使用递归冷却剂流体流动模式来冷却泵头时,在第一位置(R1-L1)处

的右泵头和左泵头之间的温度差为 0.3°C ,并且在第二位置(R2-L2)处的右泵头和左泵头之间的温度差为 0.4°C 。这导致右泵头和左泵头之间的平均温度差为约 0.35°C ,该温度差小于串联冷却剂流体流动模式提供的温度差的一半。类似地,当使用并联的冷却剂流体流动模式来冷却泵头时,在第一位置(R1-L1)处的右泵头和左泵头之间的温度差为 0.6°C ,并且在第二位置(R2-L2)处的右泵头和左泵头之间的温度差为 0.3°C 。这导致右泵头和左泵头之间的平均温度差在约 0.45°C 。虽然示例设置有两个泵头,但是根据本公开的示例性实施方案,当冷却多于两个泵头时,可以获得相同的技术和优点。

[0031] 图1示出根据本公开的一个实施方案的示例性递归泵头冷却系统。该系统包括具有第一冷却剂通道105和第二冷却剂通道107的第一泵头101和具有第一冷却剂通道109和第二冷却剂通道111的第二泵头103。如下图所示,虚线(105, 107, 109, 111等)表示经过泵头的内部的冷却剂通道。冷却剂流体113最初流动到第一泵头101的第一冷却剂通道105的入口。此时,冷却剂流体113处于其最冷的温度,因为它还没有受到来自任一个泵头的热传递。在从第一泵头的第一冷却剂通道105流出之后,冷却剂流体流到第二泵头103的第一冷却剂通道109。冷却剂流体离开第一冷却剂通道109,离开第二泵头103,并且随后在第二泵头103的第二冷却剂通道111的入口处再次进入第二泵头103。最后,在离开第二泵头103的第二冷却剂通道111后,冷却剂流体流到第一泵头101的第二冷却剂通道107的入口。此时,由于已经受来自第一泵头的第一冷却剂通道105以及第二泵头103的两个冷却剂通道109和111的热传递,冷却剂流体113处于其最高温度。因此,通过用处于其最冷点和最暖点的冷却剂流体113冷却第一泵头101,在两个泵头之间实现更均衡的平均热传递。在一些实施方案中,这种递归流动模式可以提供均衡的冷却系统,使得第一泵头和第二泵头之间的平均温度差低于 1.0°C 、 0.5°C 或 0.4°C 。

[0032] 该系统还可以包括将第一泵头101的第一冷却剂通道105与第二泵头103的第一冷却剂通道109流体联接的第一冷却剂管115、将第二泵头103的第一冷却剂通道109与第二泵头103的第二冷却剂通道111流体联接的第二冷却剂管117,和将第二泵头103的第二冷却剂通道111与第一泵头101的第二冷却剂通道107流体联接的第三冷却剂管119。在一些实施方案中,冷却剂管可以是绝热的冷却剂管。此外,在某些实施方案中,这些冷却剂管115, 117和119可以用另外的冷却器来冷却。

[0033] 如上所讨论,以更均衡的方式冷却泵头将导致泵头之间的更稳定的温度和由泵所泵送的流体之间更恒定的可压缩性和密度。这在基于 CO_2 的色谱系统中是特别需要的,在该系统中移动相包括 CO_2 ,并且其密度根据其暴露的温度而极大地变化。

[0034] 图2示出适于根据本公开的另一个实施方案的示例性递归泵头冷却系统。该特定系统包括具有第一冷却剂通道207和第二冷却剂通道209的第一泵头201、具有第一冷却剂通道211和第二冷却剂通道213的第二泵头203以及具有第一冷却剂通道215和第二冷却剂通道217的第三泵头205。在该特定示例中,冷却剂流体219最初流过第一泵头201的第一冷却剂通道207,然后通过第二泵头203的第一冷却剂通道211,然后通过第三泵头205的第一冷却剂通道215。在流过第三泵头205的第一冷却剂通道215后,冷却剂流体219离开第三泵头205并在第三泵头205的第二冷却剂通道217的入口处重新进入。在离开第三泵头205的第二冷却剂通道217后,冷却剂流体219流入经过第二泵头203的第二冷却剂通道213,最后流经第一泵头201的第二冷却剂通道209。因此,在冷却剂流体和三个泵头201, 203和205之间

实现更均衡的平均热传递。

[0035] 图3示出适于根据本公开的另一个实施方案的示例性并联泵头冷却系统。该特定系统包括具有第一冷却剂通道305和第二冷却剂通道307的第一泵头301和具有第一冷却剂通道309和第二冷却剂通道311的第二泵头303。与递归冷却剂流体流动模式相反,并联冷却剂流动模式包括两个冷却剂流体料流313和315。第一冷却剂流体料流313被引导到第一泵头301并且经过第一冷却剂通道305。在第一冷却剂通道305的出口处离开第一泵头301后,第一冷却剂流体料流313在第二冷却剂通道307的入口处重新进入第一泵头301。同时,第二冷却剂流体料流315被引导到第二泵头303并且经过第一冷却剂通道309。在第一冷却剂通道309的出口处离开第二泵头303后,第二冷却剂流体料流315在第二冷却剂通道311的入口处重新进入第二泵头303。在该特定示例中,第一冷却剂流体料流313和第二冷却剂流体料流315首先被冷却至基本上相同的温度,并且可以使用单个冷却剂泵来泵送它们。

[0036] 图4示出适于根据本公开的另一个实施方案的示例性并联泵头冷却系统。在该特定实施方案中,所述系统基本如上文参照图3所述进行构造,仅添加用于将冷却剂流体分成第一冷却剂料流313和第二冷却剂料流315的流体分隔器317,以及用于在流经泵头301和303的冷却剂通道305, 307, 309和311后合并两个流体料流的流体连接器319。

[0037] 如图图3和图4所述的此类并联的冷却剂流动模式与串联冷却剂流动模式相比,降低了泵头之间的平均温度差,并且为泵之间流动的流体提供了更一致的可压缩性和密度。温度、可压缩性和密度的这种增加的稳定性在基于CO₂的色谱系统中是特别需要的,其中移动相包括CO₂,并且其密度根据其暴露的温度或温度差而极大地变化。

[0038] 图5示出适于根据本公开的一个实施方案的示例性泵头冷却系统的框图。在该示例系统中,冷却剂流体被构造成以并联/递归流体流动模式的组合来冷却四个泵头。该系统包括第一泵头503和第二泵头505,其以递归冷却剂流体流动模式构造并且与第三泵头507和第四泵头509并联连接,第三泵头和第四泵头也以递归冷却剂流体流动模式流体联接。因此,根据一些实施方案,两个递归流动模式可以并联连接,以有效地冷却四个泵头。图5的泵头冷却系统包括流体分隔器501,其接收冷却剂料流并将其分成两股料流513和515。冷却剂流体料流513被引导到以递归冷却剂流动模式冷却的第一泵头503和第二泵头505,同时冷却剂流体料流515被引导到也以递归冷却剂流动模式冷却的第三泵头507和第四泵头509。在离开其各自的递归流动模式后,两个冷却剂流体料流513和515在流体连接器511中重组。在一些实施方案中,流体连接器511和/或流体分隔器501可以是Y型连接器,或可以将流体料流分离成两个流体料流或将两个流体料流合并成单个流体料流的任何其它合适的流体分隔器或连接器。

[0039] 图6是根据本公开的实施方案的用于在冷却剂流体和至少两个泵头之间提供基本上相等的热传递的示例性方法的流程图。在该特定实施方案中,方法包括601使冷却剂流体流经第一泵头,以及603使冷却剂流体流经第二泵头。如上参考图1-4所述,使冷却剂流体流经第一泵头和第二泵头可包括使冷却剂流经泵头内的多个内部通道。在该实施方案中,方法还包括605在冷却剂流体和两个泵头之间提供基本上相等的热传递。如上面参照表1所讨论的,当使用串联冷却剂流动模式冷却两个泵头时,冷却剂流体在其通过第一泵头然后通过第二泵头时逐渐变暖,导致在第一泵头和第二泵头之间的平均温度差接近1摄氏度(0.95℃)。该温度差部分地由冷却第二泵头时比冷却第一泵头时冷却剂流体基本上变暖引起。在

本公开的一些实施方案中,使冷却剂流体以递归或并联流动模式流过第一泵头和第二泵头提供冷却剂流体和两个泵头之间基本上相等的热传递,这导致两个泵头之间减少的平均温度差。具体地,在表1所述的示例中,可以实现小于1摄氏度(对于递归流动模式为0.35℃,并且对于并联流动模式为0.45℃)的平均温度差。由于冷却剂流体以递归或并联流动模式而不是串联流动模式通过泵头,所以冷却剂流体和泵头之间的热传递得以均衡。也就是说,通过第一泵头和第二泵头以及任何其它泵头的冷却剂流体的路径被设计或适于提供更均衡的热传递。例如,路径被设计或适于在冷却剂通过各个泵时考虑对冷却剂的变暖效应。冷却剂流体和两个泵头之间的基本上相等的热传递是引起泵头之间温度的均匀性增加的部分原因。在一些实施方案中,在冷却剂流体和泵头之间产生基本上相等的热的冷却剂流体流动模式是其中各个泵头之间的平均温度差小于0.95℃、小于0.6℃、小于0.5℃、小于0.4℃或小于0.36℃的流动模式。

[0040] 图7是根据本公开的实施方案的用于冷却泵头的示例性方法的流程图。在该特定实施方案中,方法开始于701确定在冷却泵头前是否要预冷却冷却剂流体。如果要预冷却冷却剂,该方法以703使用合适的流体冷却器冷却冷却剂流体继续。然后该方法以705确定泵头冷却系统是否是并联和递归系统的组合继续。如果是,则707冷却剂流体被分离成两个冷却剂料流,并且709每个冷却剂料流递归地流经其相应的泵头组,如图5所示。在退出递归流动模式后,然后711将两个冷却剂料流再次合并成单个冷却剂料流。

[0041] 然而,如果泵头冷却系统不是并联和递归系统的组合,则该方法以713确定系统是否是并联系统继续。如果不是,则该方法以将冷却剂流体递归地流过泵头内的冷却剂通道继续,如图1和2所示。如果系统是并联冷却系统,则该方法以717将冷却剂流体分离成两个冷却剂流体料流,以及719将冷却剂流体料流以并联构造流过泵头的冷却剂通道继续,如图3和图4所示。在719冷却剂流体料流以并联构造流过泵头的冷却剂通道后,该方法以721将冷却剂料流再次组合成单个冷却剂料流继续。在一些实施方案中,使冷却剂流体流过泵头的通道可以通过一个或多个可以将冷却剂流体泵送通过冷却系统700的冷却剂泵来实现。

[0042] 在替代实施方案中,上文关于在基于CO₂的色谱系统中使用的泵所描述的技术可适用于其它类型的色谱系统中使用的泵,所述色谱系统包括随着温度的微小变化而密度变化极大的移动相。例如,在极高压力下包括甲醇的移动相在某些情况下可以从附加的温度控制中获益。在描述示例性实施方案中,为了清楚起见使用特定术语。为了描述的目的,每个特定术语旨在至少包括以类似方式操作以实现类似意图的所有技术和功能等同物。另外,在其中特定示例性实施方案包括多个系统元件、设备组件或方法步骤的一些情况下,可以用单个元件、组件或步骤替换那些元件、组件或步骤。类似地,单个元件、组件或步骤可以用用于相同意图的多个元件、组件或步骤替换。此外,虽然已经参考其特定实施方案示出和描述了示例性实施方案,但是本领域普通技术人员将理解,在不脱离本发明范围的情况下,可以在形式和细节上进行各种替换和更改。此外,在其它方面,功能和优点也在本发明的范围内。

[0043] 为了说明的目的,本文提供了示例性流程图,并且其为方法的非限制性示例。本领域普通技术人员将认识到,示例性方法可以包括比示例性流程图中所示的步骤更多或更少的步骤,并且示例性流程图中的步骤能够以与说明性流程图中所示的顺序不同的顺序来执行。

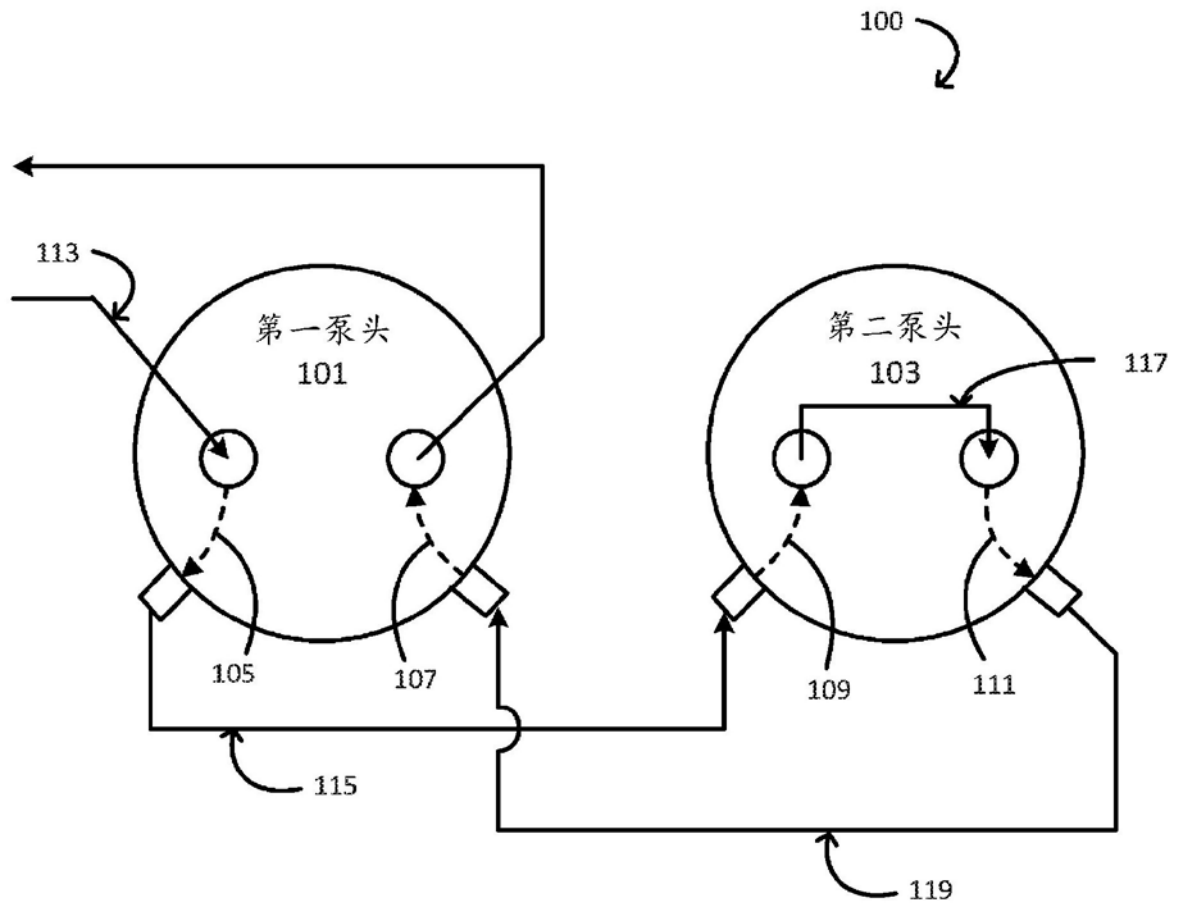


图 1

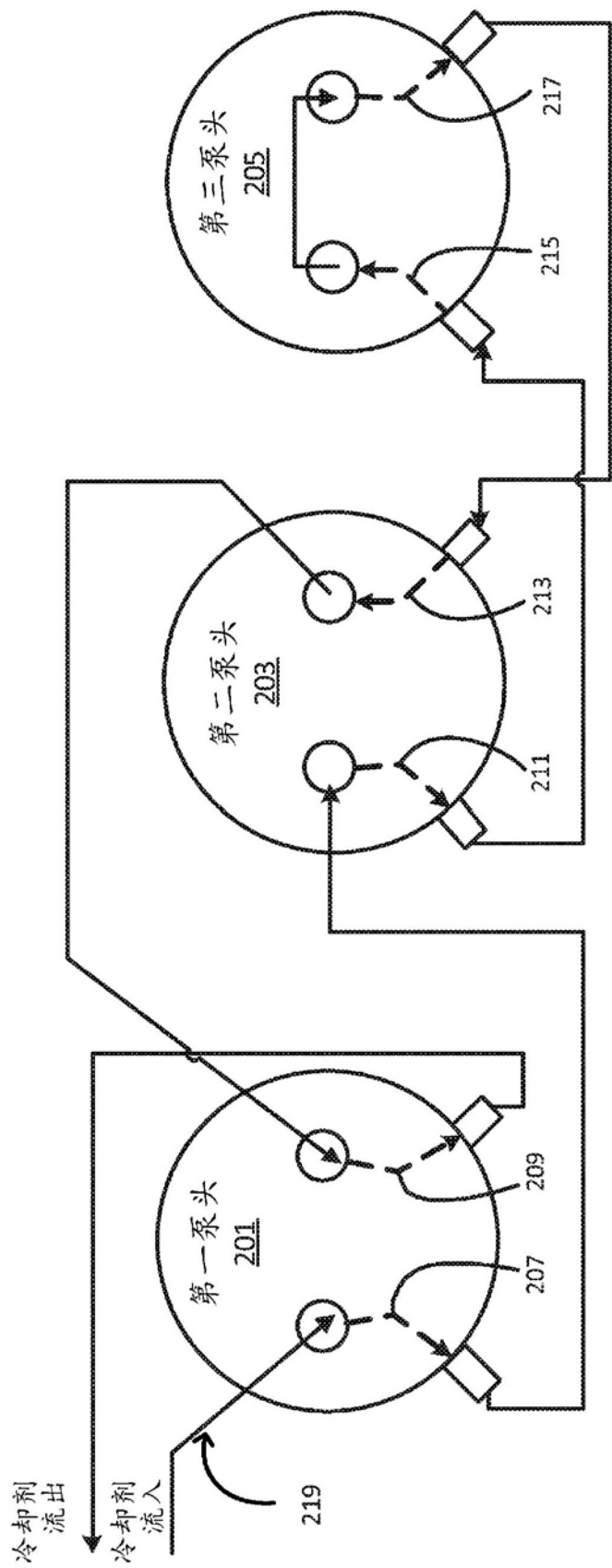


图 2

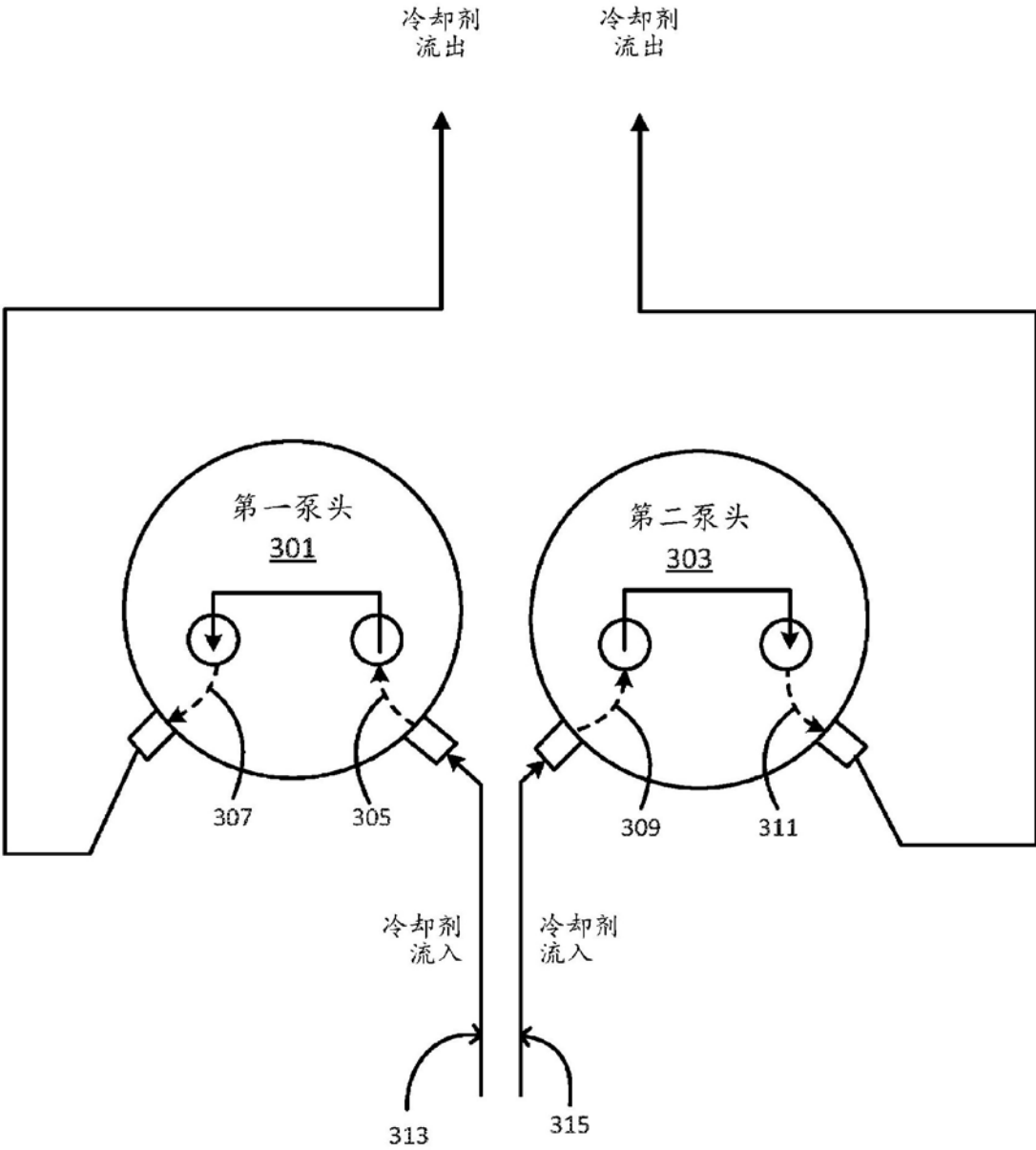


图 3

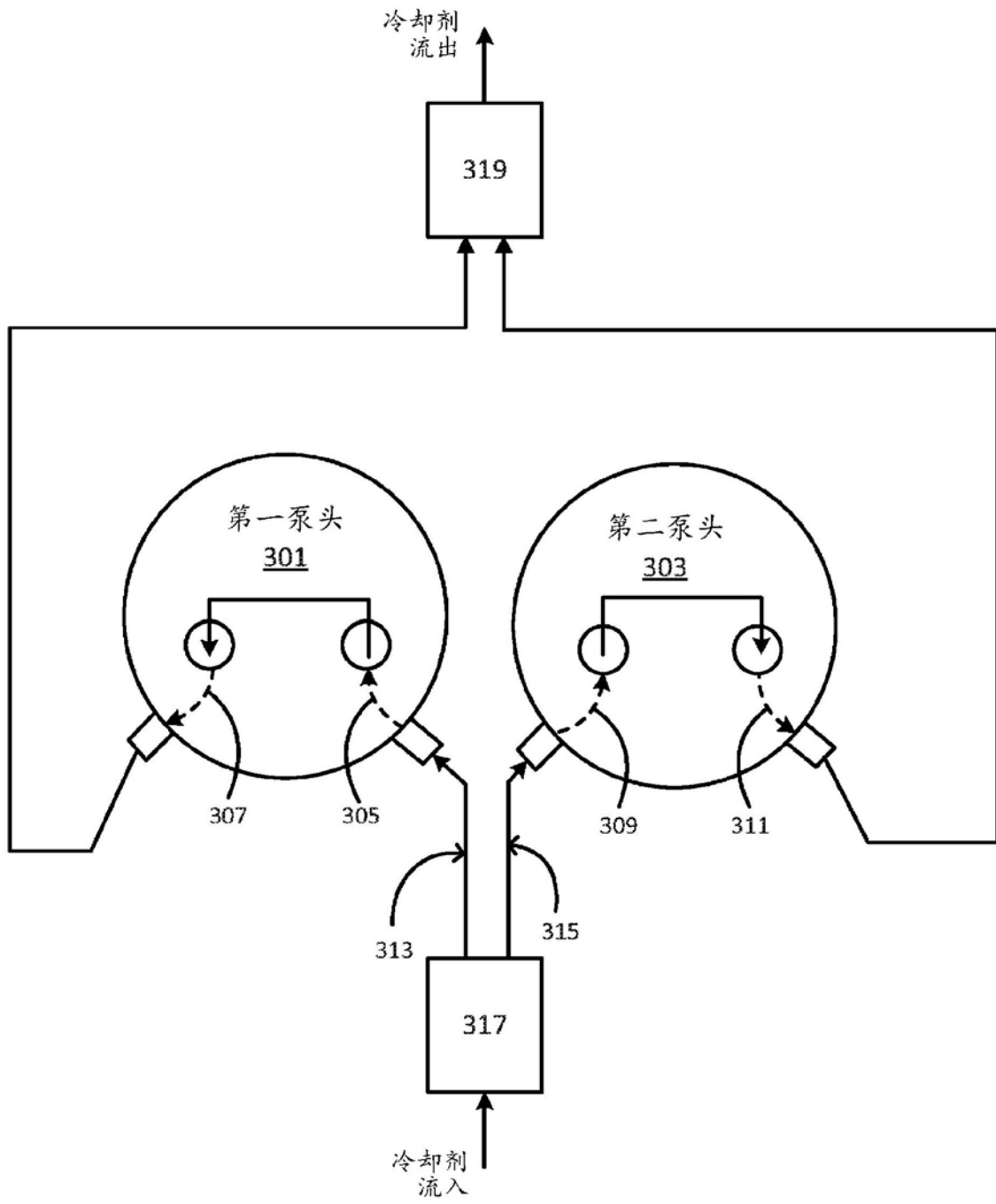


图 4

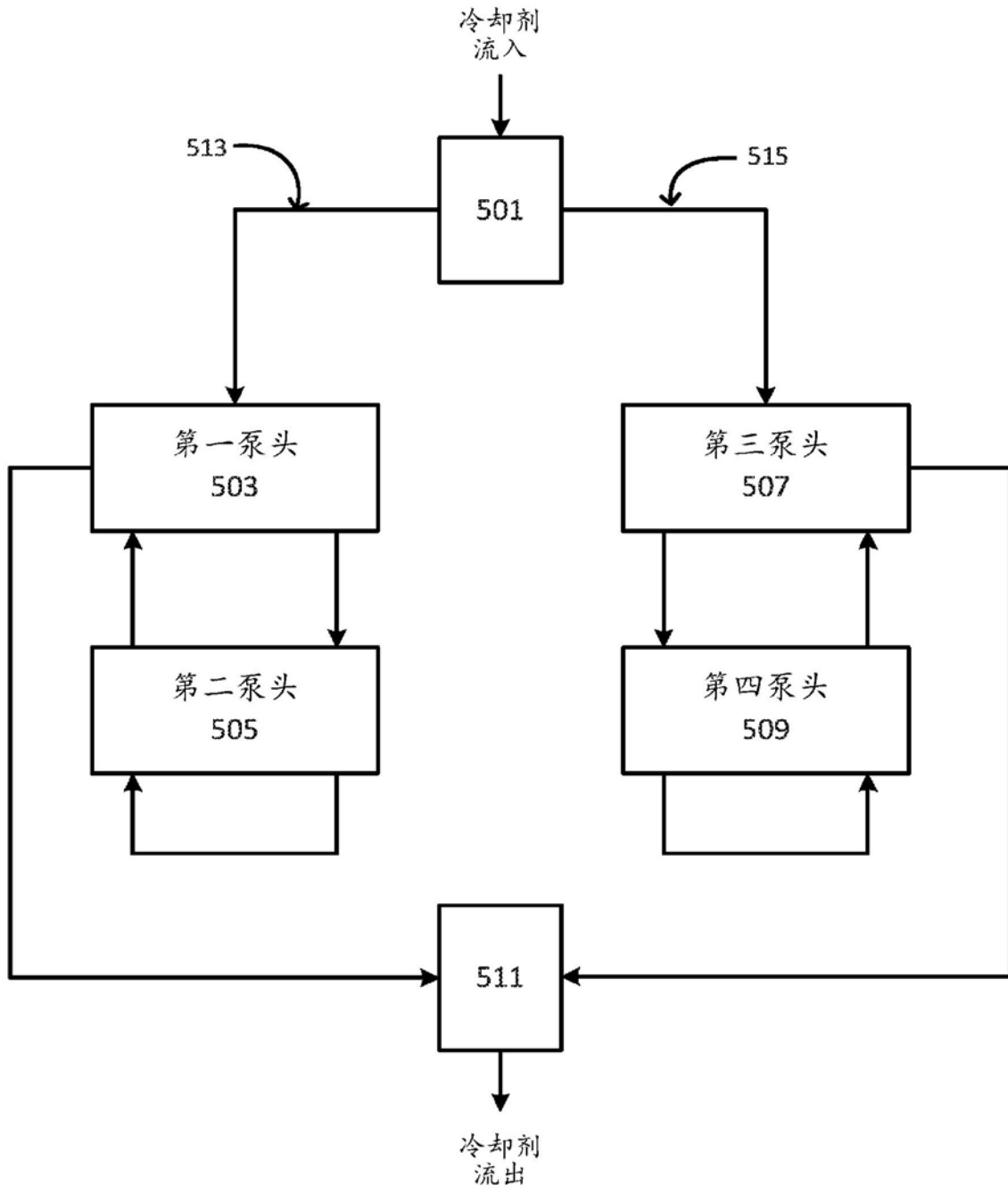


图 5

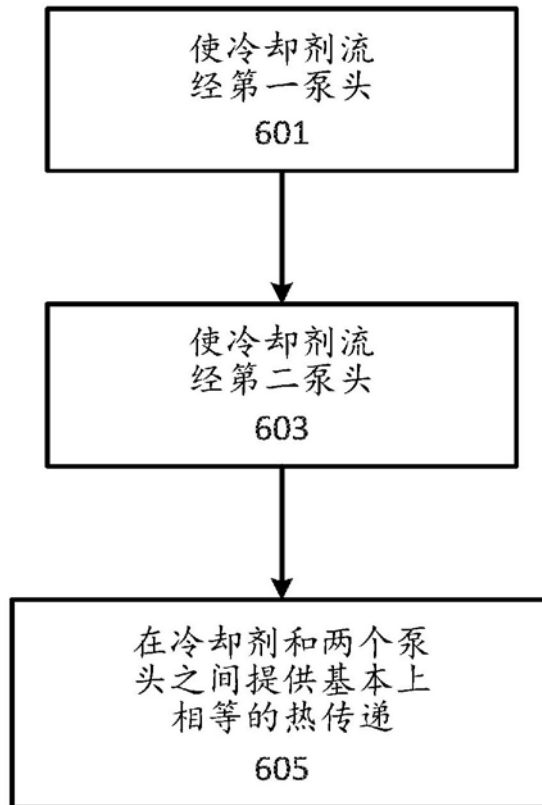


图 6

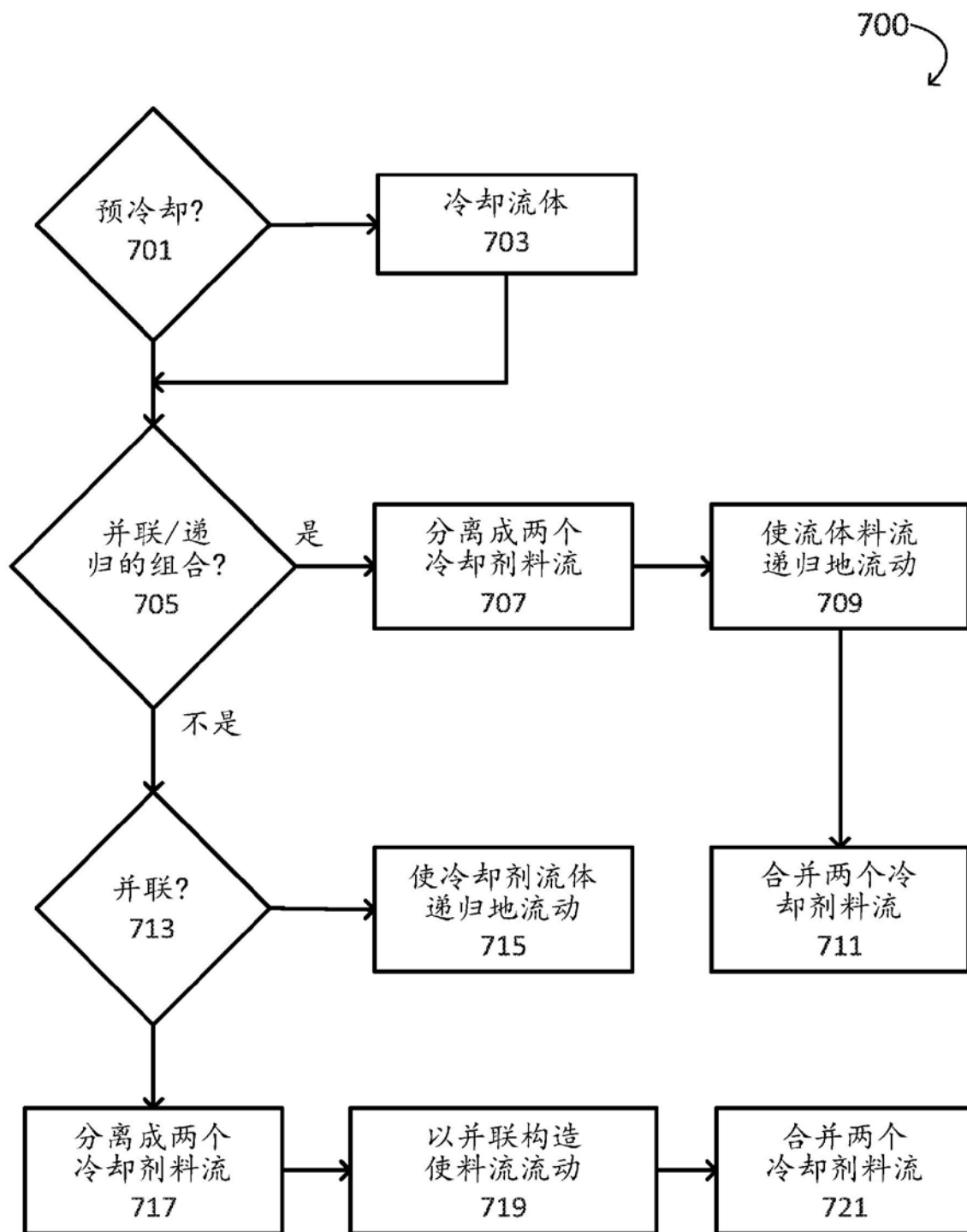


图 7